

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Demonstrační zařízení vakuových
mechanismů**

Demonstration Device of Vacuum
Mechanisms

Student: Antonín Kenický

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Antonín Kenický**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení**
Téma: **Demonstrační zařízení vakuových mechanismů**
Demonstration Device of Vacuum Mechanisms
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši k problematice vakuové techniky.
2. Proveďte výpočet a návrh ejektoru a přísavky pro manipulaci s předmětem o hmotnosti 1 kg z různých materiálů (ocel, porézní materiál) při orientaci přísavky v horizontální a vertikální rovině.
3. Navrhněte zařízení pro ověření potřebné přísavné síly pro manipulaci s předměty z různého materiálu při různé orientaci přísavky.

Seznam doporučené odborné literatury:


KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
MURRENHOF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.
Katalogy a podklady výrobců pneumatických a vakuových prvků.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry

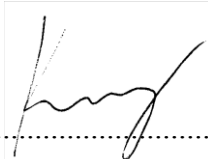



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018



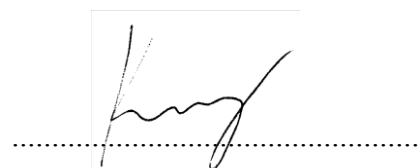
.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Antonín Kenický

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Za kostelem 20, Olomouc

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KENICKÝ, A. *Demonstrační zařízení vakuových mechanismů*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 53 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Bakalářská práce se zabývá vakuovými mechanismy, metodikou vytvářením vakua a jeho použití v praxi. Dále se zabývá výpočtem a návrhem přísavek v zatížení ve vertikálním a horizontálním směru, pro hladké a porézní těleso o váze jednoho kilogramu. Poslední bod práce je návrh stroje na ověření vypočtených parametrů, a to především hodnoty vakua na plochu přísavky a její přitlačnou sílu.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

KENICKÝ, A. *Demonstration Device of Vacuum Mechanisms*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2018, 53 p. Thesis Head: DVOŘÁK, L.

The bachelor thesis deals with vacuum mechanisms, vacuum creation methodology, and its application in practice. It also deals with the calculation, and design of suckers in load in vertical and horizontal direction for a smooth and porous one kilogram body. The last point of the thesis is the design of the machine verifying the calculated parameters, namely the vacuum values on the suction surface and its compressive force.

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Úvod.....	8
1 Pneumatické mechanismy.....	9
1.1 Vlastnosti pneumatických mechanismů.....	9
2 Stlačený vzduch a jeho vlastnosti	12
2.1 Výroba a rozvod stlačeného vzduchu	12
3 Řídicí prvky v pneumatických obvodech	14
4 Vakuum.....	15
5 Výpočet a návrh přísavky a ejektrou	31
6 Návrh zkušebního zařízení.....	41
Závěr	47
Seznam použité literatury	48
Seznam obrázků.....	50
Seznam tabulek.....	52
Seznam příloh	53

Seznam použitých zkratk

Označení	Význam
a	akcelerace zařízení
D	průměr přísavky
F_H	teoretická nosná síla
g	gravitační zrychlení
m	hmotnost tělesa
n	počet přísavek
p	vakuum
S	součinitel bezpečnosti
s	součinitel bezpečnosti
μ	hodnota tření

Úvod

Vakuová technika je vědní a technický obor, zabývající se úkony, které jsou uskutečňovány za nižšího tlaku, než je tlak atmosférický. V posledních několika letech došlo významnému pokroku v oblasti vakuové techniky, především oblast nízkých tlaků ($p \approx 10^{-10}$ Pa), kterých je možné dosáhnout daleko snadněji.

V dnešní době se vakuová technika objevuje napříč celým strojírenstvím a průmyslovou výrobou. Nejvýznamnější je především pro potravinářský průmysl (zpracování a manipulace s potravinami, vakuové balení pro prodloužení životnosti potravin), ale také velmi důležitá je pro strojírenský průmysl, kde má své uplatnění především v pneumatických mechanismech.

Pneumatické mechanismy se hojně využívají při konstrukci výrobních strojů, balící a montážní techniky, robotů apod. Když porovnáme pneumatické mechanismy s ostatními, tak zjistíme, že mají řadu výhod, ale i nevýhod. Hlavními výhodami jsou ekologičnost provozu a dostupnost pracovního média „vzduch je všude“. Bohužel nám, ale neposkytne takové síly, jako mechanismy například hydraulické.

Tato práce se bude zabývat vakuovými obvody a prvky které jsou v nich obsažené. Nejvíce však ejektory, přísavkami a jejich výpočtu pro danou situaci. V našem případě se bude výpočet zabývat velikostí a typem přísavky, při hodnotě cca 50-60% hodnoty vakua, aby byla schopna manipulovat v horizontálním a vertikálním směru s předmětem tvaru kotouče o váze 1 kg.

1 Pneumatické mechanismy

Pneumatické mechanismy se řadí do kategorie mechanismů, jejichž systém pro přenos a přeměnu energie zprostředkovává nějaký nositel energie. Podle něj se tyto mechanismy rozdělují na mechanismy: s tuhým nositelem energie (ozubená kola, hřídele), kapalným (různé druhy kapalin, především minerální olej) a elektrický (proud elektronů). U pneumatických mechanismů je nositelem energie vzdušina. Nejčastější vzdušinou používanou v praxi je stlačený vzduch. ¹

I když mají mechanismy pneumatické s hydraulickými společný název (tekutinové mechanismy), podobnou konstrukci, fyzikální princip i skladbu systému, jsou pneumatické mechanismy častěji využívány jen pro malé nebo střední výkony. Je to zejména dáno vlastnostmi nositele energie. ¹

Stlačený vzduch je nositelem tří základních forem energie a to potenciální, deformační a kinetickou. Tyto energie jsou používány pro konání mechanické práce. Pracovním cyklem pneumatických mechanismů se vytváří také ještě čtvrtý druh energie a tou je energie tepelná, která však není nijak využívána, a proto ji ve výpočtech zanedbáváme. ¹

1.1 Vlastnosti pneumatických mechanismů

Používání pneumatických mechanismů se při konstrukci moderních strojů a zařízení pořád rozšiřuje, i když mechanismy hydraulické, elektrické a s tuhými členy jsou také hojně zastoupené, mají pneumatické mechanismy řadu **výhod**. ¹

V průmyslových závodech bývá stlačený vzduch vyráběn centrálně a má vysokou jakost. Díky mobilní kompresorové stanici, lze využít stlačený vzduch i tam kde není elektrické napájení. ¹

Rozvod stlačeného vzduchu je taktéž velice jednoduchý, v porovnání s rozvody elektrickými, které jsou složité na přesné zapojení, nebo hydraulickými, které musejí mít více vodičů a zajistit dokonalou těsnost obvodu, postačí pneumatickému centrální trubka nebo hadice na kterou lze jednoduše navázat různé přípojky nebo spojky. Po vykonané práci je vzduch odváděn zpátky do ovzduší, tím pádem je prostor (pracovní hala) lépe větraný a ochlazovaný. ¹

Pneumatický mechanismus se dá díky své čistotě provozu využít tam, kde by mechanismu hydraulický mohl díky netěsnostem nebo v případě poruchy poškodit či kontaminovat provoz a jeho výrobky. Tím pádem se pneumatický mechanismus využívá hlavně v potravinářském, textilním nebo farmaceutickém průmyslu.¹

Pneumatický mechanismus může pracovat v širokém rozmezí teplot okolního prostředí, protože změna teploty okolí ovlivňuje pracovní médium jen minimálně. Kdežto hydraulický mechanismus musí být předem nastavený na daný rozsah teplot, a to výběrem oleje pro daný rozsah teploty okolí.¹

Na rozdíl od hydraulických mechanismů, které při přetížení maří velkou část energie přes pojistný ventil a elektrických u kterých se zahřívají vodiče, tak při poruše a následnému úplnému zastavení pneumatického mechanismu nedojde k poškození a pokud má mechanismus centrální rozvod stlačeného vzduchu, tak ani nemusí dojít k energetickým ztrátám.¹

Vnitřní přetlak se kterým pneumatické mechanismy pracují, zabraňuje pronikání nečistot z okolí a následné poškození součástí.¹

Problém v používání pneumatických mechanismů, není ani ve výbušném nebo zápalném prostředí (chemický průmysl, nábytkový průmysl, hlubinné doly a pod.) Elektrická zařízení v těchto oblastech musí mít speciální úpravy.¹

Rychlost vykonaných operací u přímočarého pohybu je až 8 krát rychlejší a u rotačního můžeme dosáhnout až 20 krát vyšších otáček (příklad je zubní vrtačka, která pracuje na pneumatickém principu a točí až stovky tisíc otáček za minutu).¹

Můžeme snadně a jednoduše regulovat rychlost, otáčky, sílu, výkon a to bez energetické ztráty.¹

Montáž a údržba nepotřebuje zvláštní kvalifikace a i diagnostika je poměrně jednoduchá.¹

Pneumatické prvky můžeme vyrábět bez speciálních požadavků na materiál (pevnost, opracování). Možnost výroby z hliníkových slitin, plastů, nebo keramiky. Tyto materiály významně snižují hmotnost a zvyšují životnost.¹

Nicméně pro objektivní posouzení pneumatických mechanismů s ostatnímu musíme taky zmínit jeho **nevýhody**:¹

Stlačený vzduch musí být před použitím speciálně upraven. Zbavení mechanických nečistot, vlhkosti a vody je základními kroky. Dále se může mazat olejovou mlhou aby bylo zajištěné mazání pohyblivých částí.¹

Ekonomické ztráty vznikají rozvodem stlačeného vzduchu.¹

Pneumatický mechanismus má malou tuhost kvůli stlačitelnosti vzduchu, dále při proměnlivém zatížení má horší rychlostní regulaci a souslednost pohybů.¹

Pokud máme velké průtoky (desítky až stovky $m^3 \cdot s^{-1}$) je značná i hlučnost expandujícího vzduchu. V tomto ohledu nám pomáhají tlumiče hluku.¹

Stlačený vzduch je stlačen na maximálně 1 MPa, tím pádem abychom dosáhli větších sil, nebo točivých momentů musí mít pneumatický motor větší rozměr.¹

Pokud je pneumatický mechanismus nezbytný dají se některé nevýhody eliminovat, a to použitím společně s jinými mechanismy. Například tuhost lze vyřešit přidáním mechanismu hydraulického.¹

2 Stlačený vzduch a jeho vlastnosti

Stlačený vzduch se získává z atmosférického vzduchu, ten je složený ze směsi různých plynů, vodních par a tuhých aerosolů (pyl, prach, a podobně). Tyto složky jsou v různé koncentraci podle toho, kam umístíme kompresorovou stanici. Maximální přípustná velikost pevných částic je $200\ \mu\text{m}$. Vodní páry obsažené ve vzduchu mají zásadní vliv až po ochlazení za kompresorem. Sražením vzniká kondenzát, ten může zapříčinit korozi jednotlivých částí v obvodu, ale také zamrzání výstupních kanálů. Speciální složkou stlačeného vzduchu je minerální olej, který se může přidávat do vzduchu pro zajištění mazání. Před použitím atmosférického vzduchu v pneumatických mechanismech je nutná jeho patřičná úprava, jinak by mohla například vodní pára v potrubí zkondenzovat a při smíchání s olejovou emulzí vznikne velmi lepkavá emulze. Pokud se tato emulze dostane do řídicích prvků (ventily, rozváděče) může zapříčinit jejich znehybnění, a tím pádem poruchu celého mechanismu.^{1, 2}

2.1 Výroba a rozvod stlačeného vzduchu

Stroj na výrobu stlačeného vzduchu se nazývá kompresor, ten pracuje na principu přeměny mechanické energie na energii tlakovou. I když je stlačování vzduchu energeticky intenzivní a ekonomicky náročné, je jeho využití v některých výrobních odvětvích nenahraditelné. Vysokou cenu způsobuje dvojitá přeměna energie, a to přeměnění elektrické energie na stlačený vzduch a následné přeměnění stlačeného vzduchu na mechanickou energii v pneumatickém motoru. Mezi hlavní parametry kompresoru patří výkonnost, tlakový poměr, výtlačný tlak a efektivní příkon.^{1, 2}

Kompresory můžeme rozdělit podle principu, a to na **objemové** (kde nárůst tlaku vzniká v důsledku zmenšení objemu pracovního prostoru, nebo **rychlostní**, kterým se také říká odstředivé (kde nárůst tlaku vzniká zrychlením proudícího plynu). Mezi objemové kompresory patří pístové kompresory, lamelové kompresory, šroubové kompresory. Rychlostní (turbokompresory) jsou radiální, axiální.^{1, 2}

Připojení stlačeného vzduchu od místa výroby (kompresoru), až ke spotřebiči což je nejčastěji pneumatický mechanismus zprostředkovává rozvodná síť. Provedení rozvodové sítě je dáno parametry obvodu, jako jsou velikost a počet spotřebičů.^{1, 2}

Abychom dosáhli maximální hospodárnosti a spolehlivosti rozvodu stlačeného vzduchu, tím pádem správnému výkonu v pneumatickém mechanismu musí sít splnit následující požadavky:

- tlakové ztráty mezi kompresorem a pneumatickým mechanismem musejí být co nejmenší,
- objemové ztráty díky netěsnostem musejí být co nejmenší,
- odvod kondenzátu v celém systému,
- všechny části rozvodu musejí být dostatečně pevné,
- tlaková ztráta by neměla být větší jak 8-10% výtlačného tlaku kompresoru.^{1, 2}

3 Řídicí prvky v pneumatických obvodech

Řídicí prvky v pneumatických obvodech jsou nedílnou součástí každého obvodu a jsou hojně zastoupeny v celkovém počtu prvků obvodu. Řídicí prvky můžeme rozdělit do třech základních skupin podle jejich účelu, a to na prvky pro hrazení průtoku (rozváděče), pro řízení tlaku a pro řízení průtoku (ventily). Všechny tyto prvky se dají následně dělit podle konstrukce. ¹

Všechny druhy ventilů dále se dají různě ovládat, a to mechanicky (dřík, kladka, kladka s pákou), lidskou silou (pedál, páka, různé druhy tlačítek), vzduchem a elektromagneticky. ²

Rozváděče rozdělujeme podle počtu cest (dvoucestné, třícestné, čtyřcestné, pěticestné) a dále ještě podle funkčních stavů na dvoupolohové, třípolohové a čtyřpolohové. Řízení rozváděčů je buď impulzivní, proporcionální nebo trvale působící. Díky rozváděčům můžeme vykonávat i logické funkce, jako jsou například funkce OR a AND. ^{1, 2, 3}

Kombinací doposud zmíněných prvků do jednoho celku, nám vznikají kombinované řídicí prvky, které nám umožňují při jednom vstupu mít více požadovaných funkcí. Jedním z nejčastěji používaných kombinací je kombinace škrtkového a jednosměrného ventilu. ^{1, 2, 3}

Prvky pro úpravu stlačeného vzduchu jsou nedílnou součástí každého obvodu. I když hrubé nečistoty a vlhkost je odstraněna již při nasávání vzduchu do kompresoru, tak jemné nečistoty a zbývající vlhkost musí být odstraněna bezprostředně u pneumatického mechanismu. To se provádí za použití odlučovače kondenzátu a filtrů. Tyto dva komponenty lze nahradit kombinovaným filtrem s odlučovačem kondenzátu. Do tohoto kompletu bývá vestavěn i redukční ventil. ^{1, 2, 3}

Na konci pneumatického mechanismu bývá zařazen tlumič hluku, protože výfuk vzduchu může být poměrně hlučný. Čím více vzduchu se odfukuje, tím je také větší hlučnost. Nevýhoda tlumičů hluku je ta, že se můžou zanést drobnými nečistotami, což zapříčiní zacpaní vývodu vzduchu. V takovém případě, může tlumič prasknout. ^{1, 2, 3}

4 Vakuum

Používání vakua vysokého, nebo velmi vysokého, má široké využití nejen v technice, ale i ve vědě. Pomocí vakua je možné sledovat různé fyzikální pochody, nebo technologické operace, bez nežádoucích dějů, protože vakuum dokáže izolovat sledované procesy od ostatních. Ve vakuu lze omezit, nebo úplně vyloučit srážky elektricky nabitých i neutrálních částic s molekulami okolního plynu, tím pádem je umožněn volný pohyb částic. Velmi vysoké vakuum ($1,333 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}$) využívá například urychlovač částic v CERNu v Ženevě. Vakuová technika se používá v celé řadě průmyslových odvětví. V první řadě bychom měli jmenovat elektrotechnický průmysl, který jednak přímo vyrábí vakuové systémy (starší obrazovky, vakuové kondenzátory a tak dále) a jednak při samotné výrobě vakuum používá, hlavně v oblasti mikroelektroniky. Dalším průmyslovým odvětvím je chemický průmysl (vakuová destilace, ochrana látek před oxidací), optický průmysl (výroba reflexních a antireflexních vrstev). V neposlední řadě se jedná o vakuovou metalurgii, ta nám umožní vyšší jakosti kovu než metalurgie klasická. Nás ovšem bude zajímat takzvaně „průmyslové vakuum“, které může dosahovat, až 90 % teoreticky dosažitelné hodnoty podtlaku. Díky tomu není proces natolik energeticky náročný, ale stačí abychom pomocí přísavky mohli manipulovat s předměty.^{2,3}

Definice vakua podle normy DIN 28400 je: „Vakuum je stav plynu, který má menší hustotu než atmosféra na zemském povrchu. Jako vakuum tedy můžeme označit stav plynu, jehož tlak je nižší, než je tlak atmosférický“²

Uzavřená nádoba s tlakem sníženým na určitou hodnotu, má stejnou polohovou energii jako, stejná nádoba se zvýšeným tlakem na stejnou hodnotu. Manipulovaný předmět není přísavkou přisátý, ale je na ni přitlačován silou atmosférického tlaku.²

Pro měření podtlaku (vakua) se používají různé jednotky. Přehled jednotek je zobrazen v tabulce 4.1. Při manipulaci s díly, se převážně používají jednotky kilopascal, milibar, nebo také procenta vakua. V tabulce 4.2 vidíme srovnání jednotek v závislosti na atmosférický tlak (101325 Pa) nebo absolutní vakuum.²

Tabulka 4.1 Používané jednotky pro vyjádření podtlaku (vakua) ²

	název jednotky	značka	převod jednotek
SI jednotky tlaku	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
	kilopascal	kPa	1 kPa = 1 000 Pa ≈ 10 mbar*
staré jednotky tlaku	bar	bar	1 bar ≈ 10 ⁵ Pa = 0,1 MPa*
	milibar	mba	1 mbar = 10 ⁻³ bar ≈ 100 Pa*
	Torr (mm rtuťového sloupce)	Torr (mm Hg)	1 Torr = 133,3224 Pa (1 bar = 750 Torr)
	kilopond na čtverečný centimetr	kp/cm ²	1 kp/cm ² = 98 066 Pa = 0,981 bar
	metr vodního sloupce	m H ₂ O (m v.s.)	1 m H ₂ O = 98 066 Pa = 0,981 bar

* 1 MPa = 9,81 bar ≈ 10 bar

 Tabulka 4.2 Srovnání používaných jednotek ²

	vakuum	kPa	mbar	Torr (mmHg)	Torr (mmHg)
Normální atmosférický tlak	0 %	0	0	0	760
	10 %	-10,1	-101	-76	684
	20 %	-20,3	-203	-152	608
	30 %	-30,4	-304	-228	532
	40 %	-40,5	-405	-304	456
	50 %	-50,7	-507	-380	380
	60 %	-60,8	-608	-456	304
	70 %	-70,9	-709	-532	228
Absolutní vakuum	80 %	-81,1	-811	-608	152
	90 %	-91,2	-912	-684	76
	100 %	-101,3	-1013	-760	0

Vakuové mechanismy nám usnadňují manipulaci s různými věcmi. Jejich výhod se využívá v transportních, manipulačních, tiskařských, balících a dalších strojích. Mohou se používat tam, kde manipulační hmotnost tělesa se pohybuje v rozmezí od několika setin kilogramů, až po několik set kilogramů. Nejčastěji se používají pneumatické mechanismy, které však nepoužívají přímo energii stlačeného vzduchu, ale tuto energii využijí k vytvoření podtlaku (vakua) pomocí ejektorů, kterým se budeme věnovat v dalších kapitolách. Mechanismy využívající podtlaku, dále nazýváme vakuové mechanismy. ^{1, 3}

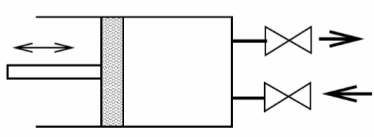
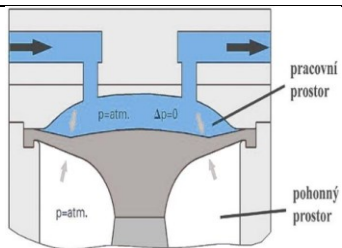
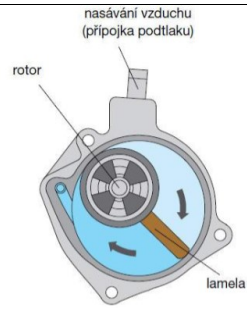
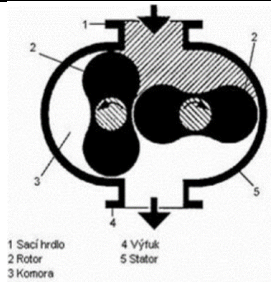
Pomocí vakuových mechanismů můžeme manipulovat s různými předměty, které mají rovinný, nebo zaoblený tvar. To znamená, že lze manipulovat s papírem, plechy, plastovými deskami, skleněnými tabulemi, překližkami, trubkami, koulemi a třeba vajíčky. ¹

Mezi hlavní části vakuových mechanismů patří zdroj vakua (ejektor, vývěva) a přísavka. Oba tyto hlavní komponenty se dají dále rozdělit do několika druhů. Podrobné rozdělení bude popsáno v dalších kapitolách. ¹

Vývěvy mechanické

K pohonu mechanických vývěv se používají zejména elektromotory. Vývěvy mají stejný funkční princip jako kompresory. Na stranu sání vývěvy připojíme prostor, ve kterém chceme docílit podtlaku. Na straně výfuku je do atmosféry odváděn určitý objem vzduchu, který byl z daného prostoru odsán. V prostoru, ze kterého se odvádí vzduch, se sníží tlak vzduchu pod hladinu atmosférického tlaku a tento podtlak označujeme jako vakuum. Různé typy vývěv a jejich vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4.3. ²

Tabulka 4.3 Typy a vlastnosti vývěv

Zdroj podtlaku vakua	Výhody	Nevýhody	Schéma
Pístová vývěva	- Levná	- Malý objem odsátého vzduchu - Hodně se zahřívá	
Membránová vývěva	- Levná - Malé rozměry	- Poměrně hlučná	
Rotační vývěva s rotorem a výsuvnými lopatkami	- Vysoké vakuum - Velký objem odsátého vzduchu - Tichý chod	- Citlivé na nečistoty - Drahé - Vysoké nároky na údržbu - Hodně se zahřívá	
Rootsovo dmychadlo	- Velký objem odsátého vzduchu - Levné na údržbu	- Drahé - Hodně se zahřívá - Hlučné	

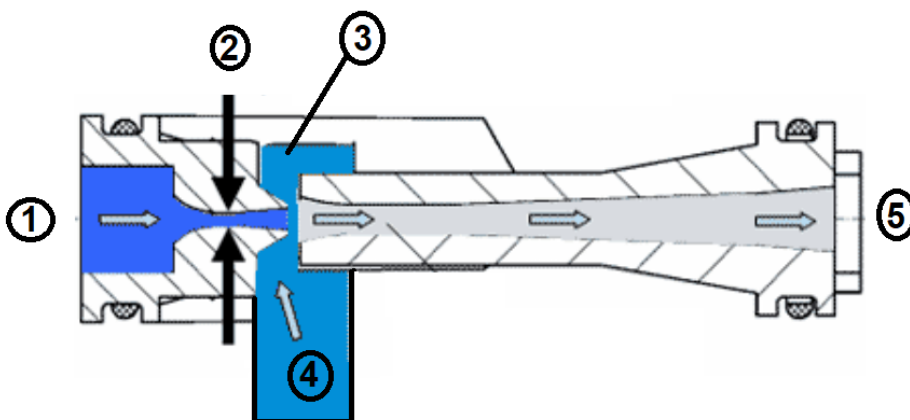
Vývěvy proudové (ejektory)

Ejektor má stejnou funkci jako mechanická vývěva. Hlavní rozdíl mezi nimi je jejich pracovní princip a konstrukce. Ejektor nemá žádné pohyblivé části a funguje na principu Venturiho trubice. Hlavní výhody ejektorů oproti mechanickým vývěvám jsou: ²

- jsou bezúdržbové,
- při práci se neopotřebovávají,
- při práci se nezahřívají,
- díky absenci pohyblivých dílů nevznikají žádné vibrace,
- malá hmotnost a rozměry,
- ejektor lze připojit přímo na přísavku, tím pádem máme rychlé dosažení vakua. ²

Jednostupňový ejektor

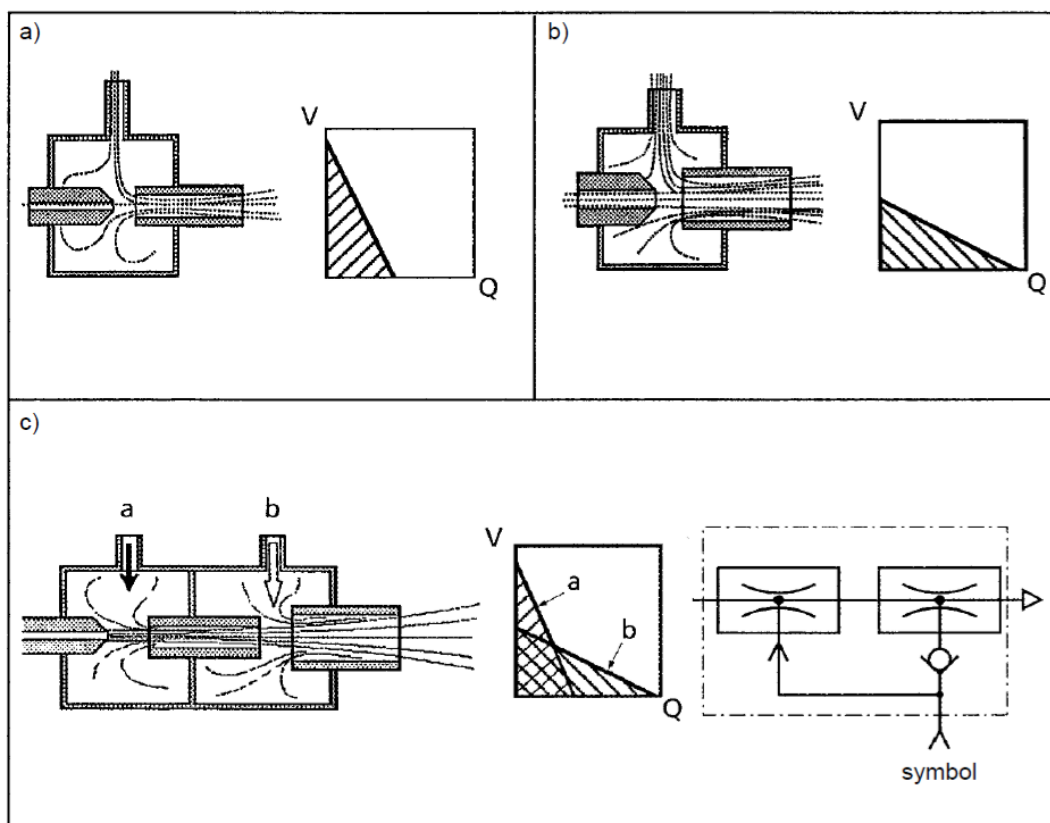
Ejektor nepotřebuje k chodu žádný elektromotor tím pádem, není závislý na elektrické energii. Jako zdroj energie ejektoru slouží stlačený vzduch. Ten se přivádí do vstupního hrdla ejektoru (1). Vzduch pokračuje do zúženého prostoru trysky (2), kde vzroste jeho rychlost a klesá tlak. Na výstupu trysky proud vzduchu strhává částice vzduchu v prostoru (3) a unáší je s sebou, díky čemuž v prostoru (3) nastává podtlak a z prostoru (4) se přisává vzduch, který chceme odsát. Vzduch, který je přiváděn tryskou (2) společně se vzduchem z hrdla (4) je odváděn výstupem ejektoru (5). Ten je možné svést do společného potrubí, hadice nebo tlumiče hluku, který vyfukuje vzduch do atmosféry. Podstatné je, aby výfuk vzduchu netvořil protitlak, který by snižoval hodnotu dosaženého vakua. Z tohoto hlediska musíme zajistit, aby výfukové potrubí nebo hadice měli dostatečně velký průřez.^{2,4}



Obrázek 4.1 jednostupňový ejektor⁴

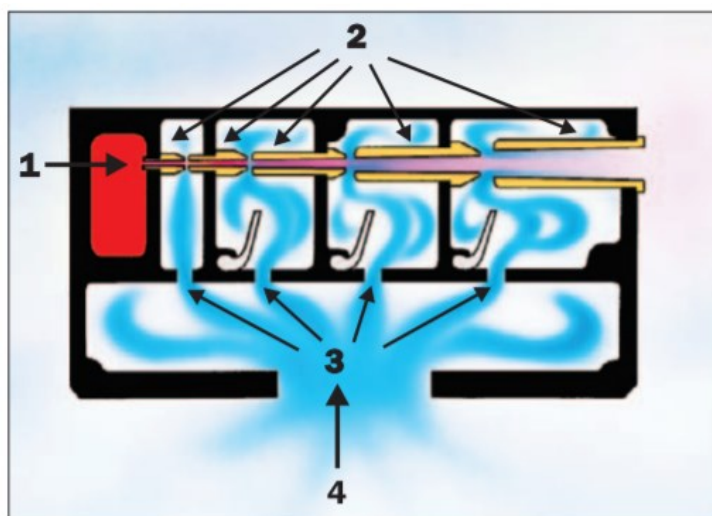
Vícestupňový ejektor

Vícestupňové ejektory jsou složeny ze dvou nebo více Venturiho trubic. Každá Venturiho trubice má jiný rozměr trysky. Pokud máme malý průměr trysky jako na obrázku 4.2a dosáhneme sice velkého vakua (V), ale objem odsátého vzduchu (Q) bude malý. Pokud zvolíme velký průměr obrázek 4.2b vakuum (V) bude menší, ale objem vzduchu (Q) velký. Vícestupňový ejektor obrázek 4.2c nám kombinuje obě výhody předchozích ejektorů. Použitím dvoustupňového ejektoru můžeme zvýšit objem nasávaného vzduchu až o 40%. V případě třístupňového to může být až 250%.²



Obrázek 4.2 Jednostupňový a vícestupňový ejektor ²

Na obrázku 4.3 vidíme provedení čtyřstuňového ejektoru. Ten pracuje tak, že stlačený vzduch přivedený do vstupní komory (1) prochází přes několik sériově řazených trysek (2) o různých průměrech. Strhává s sebou okolní vzduch z jednotlivých komor. Tyto komory jsou opatřeny uzavíracími klapkami (3). Klapky se v důsledku rostoucího vakua (4) postupně uzavírají. Po uzavření všech klapek, je dosaženo maximální hodnoty vakua a v chodu zůstává pouze první tryska. ⁵



Obrázek 4.3 Čtyřstuňový ejektor ⁵

a povrchem manipulovaného předmětu podtlak, je přitlačována silou okolního (atmosférického) tlaku. Správnou volbu přísavky určuje celá řada parametrů. Některé provozní podmínky a jejich parametry jsou uvedeny v tabulce 4.4. Dále je potřeba v určitých případech volit správné příslušenství (výkyvné upevnění, pružné vyrovnávací upevnění, atd.), které je schopno vylepšit funkčnost a spolehlivost celého systému. ^{1, 2, 6}

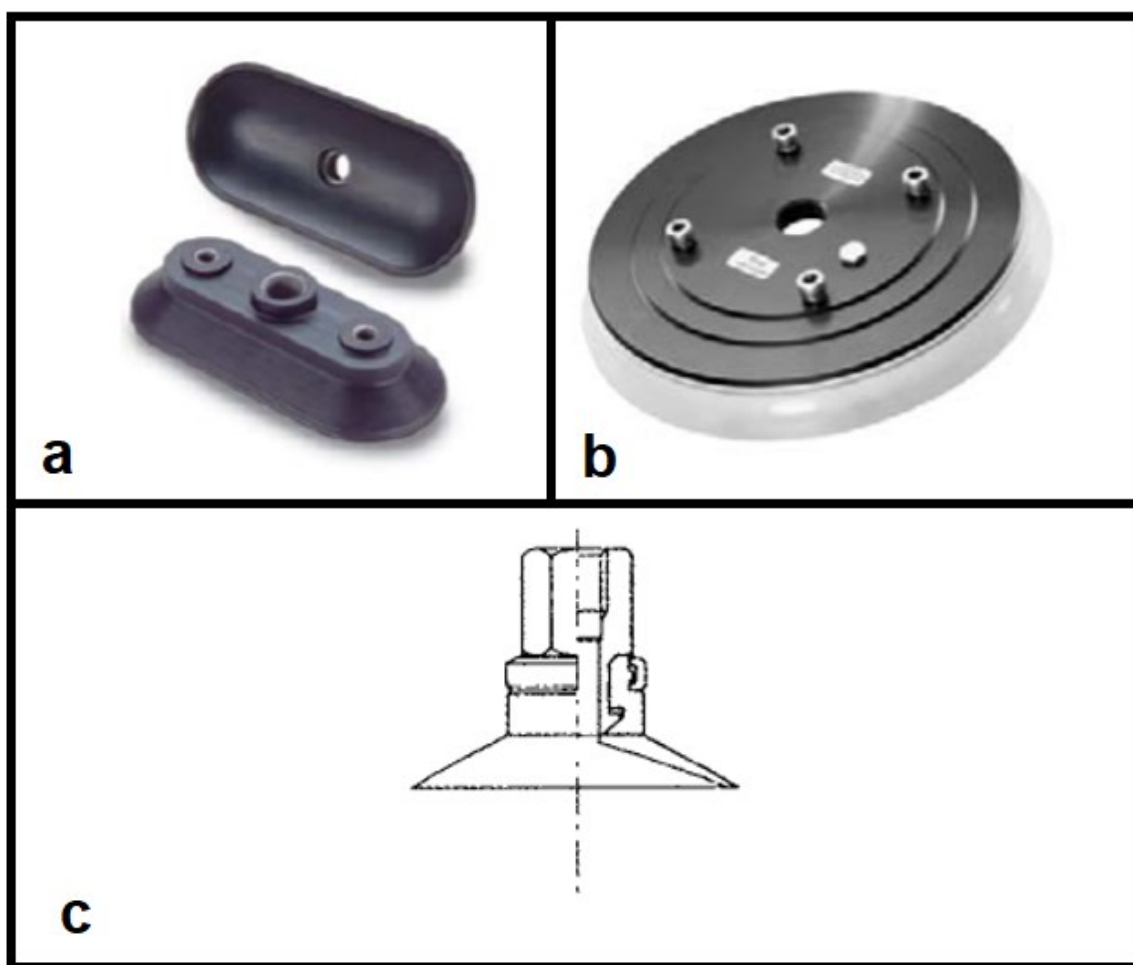
Tabulka 4.4 Provozní podmínky a parametry přísavek ⁶

Provozní podmínky	Parametry přísavek
Tvar a povrch manipulovaného předmětu	Typ, počet a materiál přísavek
Manipulace s předmětem v horizontální poloze	Přidrzná síla kolmá k ploše
Manipulace s předmětem ve vertikální poloze	Přidrzná síla paralelní s plochu
Působení dynamických sil	Počet přísavek
Požadavek na vysokou třecí sílu	Materiál přísavek, opěrná žebra
Požadavek na dlouhou životnost	Materiál přísavky
Teplotní odolnost	Materiál přísavky
Požadavek na bezotiskovost	Materiál přísavky
Tenké materiály s rizikem deformace	Opěrná žebra nebo vložky v přísavce
Montáž přísavky na zařízení	Typ přípoje přísavky
Možnost nasátí nečistot	Filtr v přípoji nebo v přísavce
Některé přísavky neobsazené předmětem	Ventil v přípoji přísavky

Druhy přísavek jsou různé. Liší se mnoha faktory v závislosti na výrobci. Obecně je však můžeme rozdělit na čtyři základní tvary, a to jsou: plochá přísavka, plochá přísavka s opěrnými žebry, hluboká přísavka a přísavka s měchem. Každá z těchto přísavek má různé vlastnosti a používají se pro rozdílné aplikace. ^{1, 2, 6}

Ploché přísavky

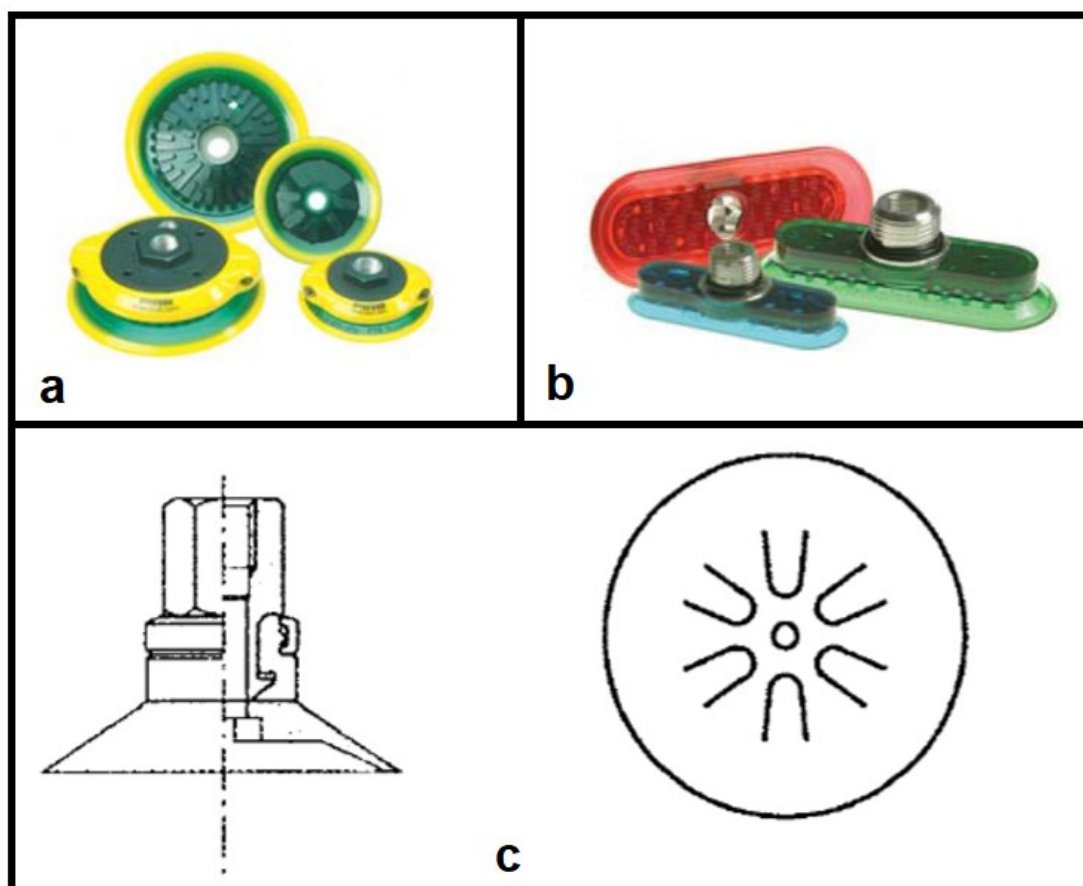
- mohou mít oválný nebo kruhovitý tvar,
- používají se pro manipulaci s pevnými materiály s rovnou styčnou plochou,
- pokud působí nějaké ohýbací síly, je nutné použít v kombinaci s výkyvným upevněním. ^{2, 6}



Obrázek 4.5 (a) plochá přísavka oválná, (b) plochá přísavka kruhovitá, (c) řez plochou kruhovitou přísavkou ^{2, 6}

Ploché přísavky s opěrnými žebry

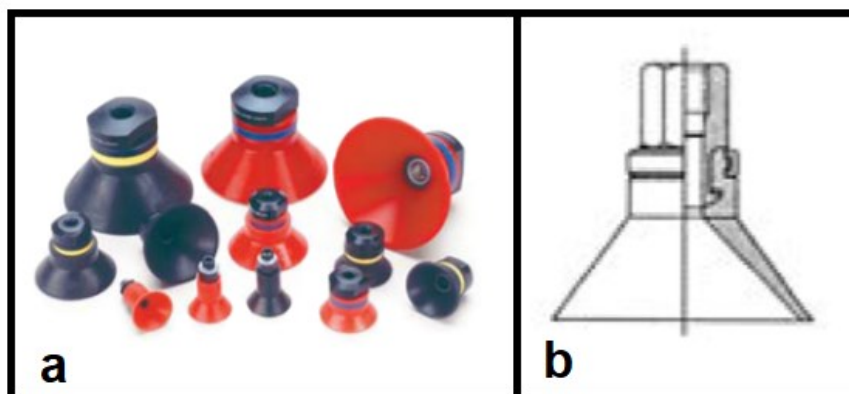
- mohou mít oválný nebo kruhový tvar,
- používají se pro manipulaci s fóliemi nebo papírem,
- mají dobrou stabilitu a minimální pohyb při manipulaci,
- jsou vhodné pro manipulaci s předměty ve svislé poloze.^{2, 6}



Obrázek 4.6 (a) plochá přísavka s opěrnými žebry kruhovitá, (b) plochá přísavka s opěrnými žebry oválná, (c) řez plochou kruhovitou přísavkou s opěrnými žebry^{2, 6}

Hluboké přísavky

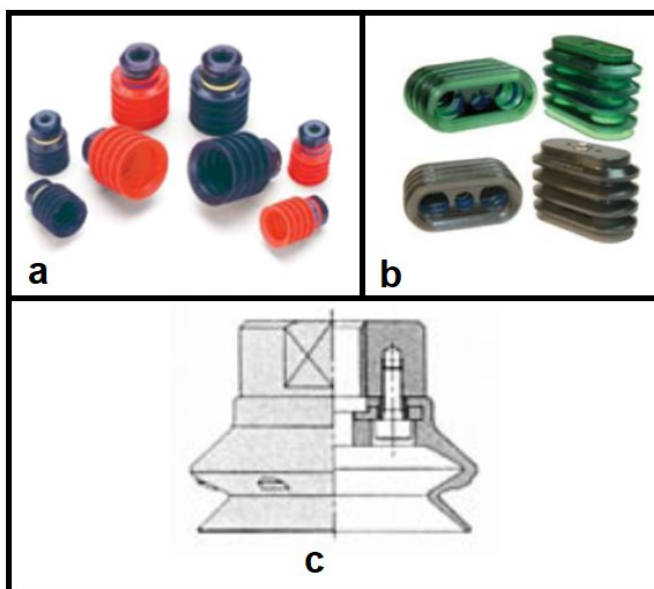
- mají kruhový tvar,
- nejsou vhodné k manipulaci s rovnými předměty,
- používají se pro manipulaci s kulovými předměty.^{2,6}



Obrázek 4.7 (a) hluboká přísavka, (b) řez hlubokou přísavkou^{2,6}

Přísavky s měchem

- mají kruhový nebo oválný tvar,
- přizpůsobují se různým nerovnostem a menším výškovým rozdílům,
- nejsou vhodné k uložení předmětu do přesné pozice, kvůli malé boční tuhosti.^{2,6}



Obrázek 4.8 (a) kruhovitá přísavka s měchem, (b) oválná přísavka s měchem, (c) řez kruhovitou přísavkou s měchem^{2,6}

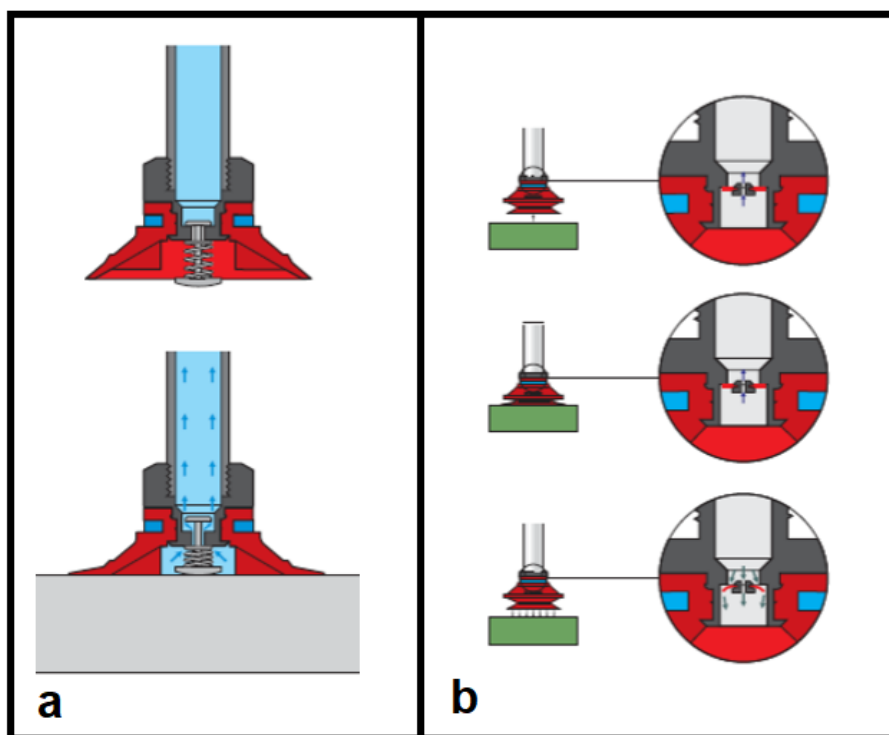
Dalším podstatným faktorem ohledně přísavek a jejich vhodného použití je materiál, z něhož je přísavka vyrobena. Obecně se používají různé kaučuky, pryže nebo silikony. Každý výrobce používá různé materiály podle toho, k jakému účelu je přísavka určena. Přehled materiálu přísavek od firmy FESTO je uveden v tabulce 4.5.^{1, 4}

Tabulka 4.5 Přehled materiálu přísavek od firmy FESTO^{4,7}

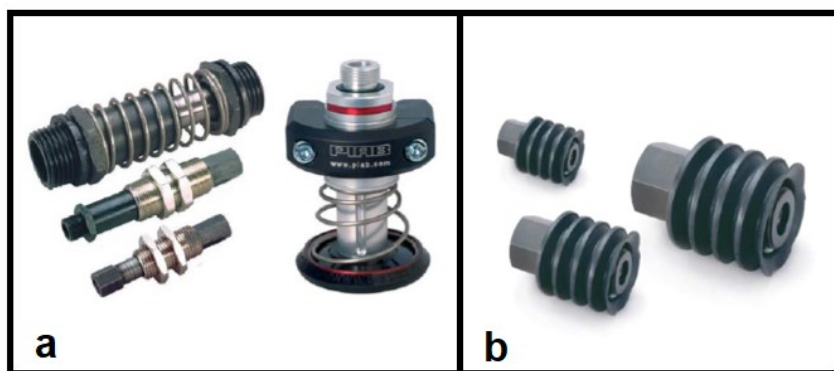
Materiál přísavek	Barva	Teplotní rozsah [°C]	Odolnost proti opotřebení	Výrobek
Nitrilový kaučuk (N)	Černá	-10...+70	++	Naolejované a hladké
Polyuretan (U)	Modrá	-20...+60	+++	Naolejované, hladké a drsné
Silikon (S)	Bílá, průhledná	-30...+180	+	Potraviny, horké a studené
Fluórový kaučuk (F)	Šedá	-10...+200	+	Naolejované, hladké a horké
Nitrilový kaučuk, antistatický (NA)	Černá s bílou tečkou	-10...+70	++	Elektronika, zaolejovaná
Polyuretan, teplotně odolný (T)	Hnědá průhledná	-10...+80	+++	Naolejované a drsné

K samotným přísavkám se prodávají také různé přípoje a příslušenství. Jak už název napovídá, pomocí přípojů připojujeme přísavky k vakuovému obvodu. Přípoje mohou mít i více závitů, tím pádem lze namontovat na jeden přípoj i více přísavek. Většina přípojů obsahu sítu, které zabraňuje vnikání nečistot do vakuového obvodu. Některé přípoje mají v sobě obsaženy dotykové nebo zpětné škrticí ventily. Dotykový ventil Obr. 4.9a otevře přívod vakua až po dosednutí přísavky na manipulovaný předmět. Díky tomu je obvod funkční, i když nebudou využity všechny přísavky, v němž obsažené. Zpětný škrticí ventil Obr. 4.9b má obdobné využití.⁶

Příslušenství slouží k zajištění maximální provozní spolehlivosti a životnosti. K tomuto účelu je navrženo několik druhů speciálního upevnění. Pružné vyrovnávací upevnění kompenzuje výškové rozdíly a zároveň tlumí nárazy. Pokud použijeme pružné vyrovnávací upevnění Obr. 4.10a, nemusíme přesně výškově polohovat přísavku na manipulovaný předmět. Výkyvné upevnění Obr. 4.10b přizpůsobuje přísavku různým úhlům a minimalizuje ohýbací síly. Nejčastěji se používá na manipulaci s tabulemi plechu nebo vlnitými či jinak zakřivenými předměty.⁶



Obrázek 4.9 Ventily v přípojkách⁶

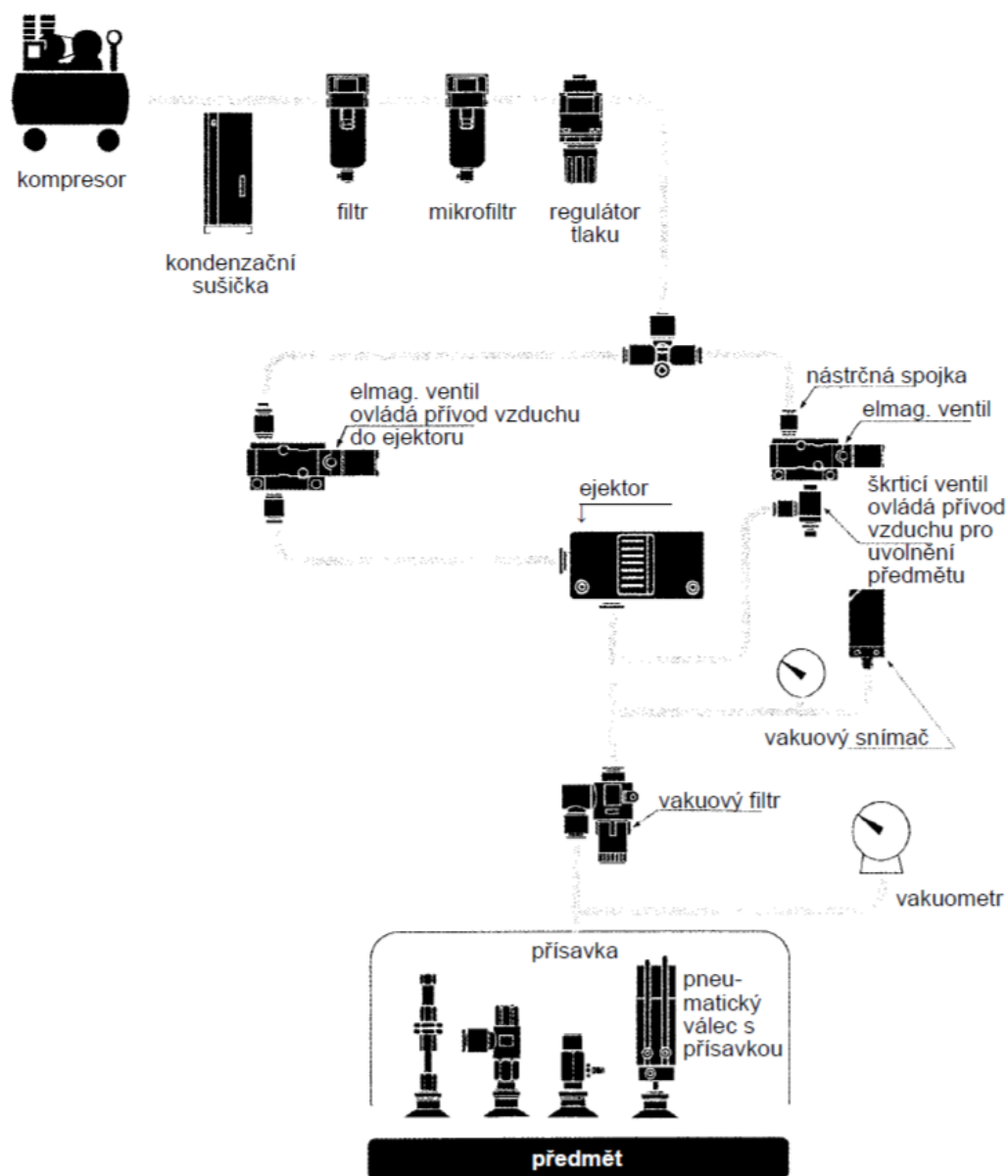


Obrázek 4.10 Příslušenství k přísavkám⁶

Vakuový obvod sestavený ze samostatných prvků

Klady: neomezená volnost při sestavování jak v plošném, tak prostorovém uspořádání všech prvků. ²

Zápory: poměrně velká časová náročnost na montáž, prostorově více rozlehlé. ²

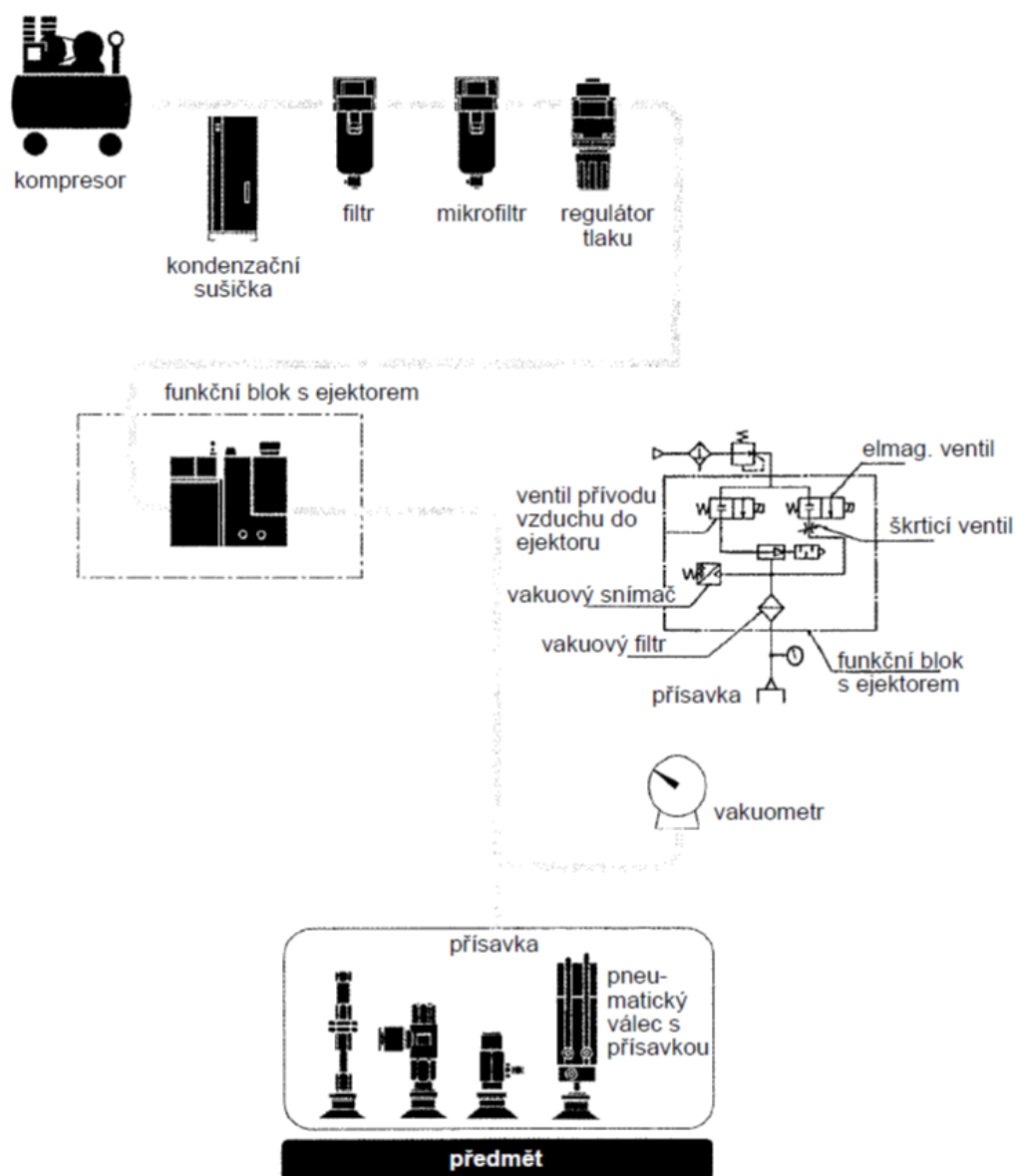


Obrázek 4.11 Obvod se zdrojem a řízením vakua, sestavený ze samostatných prvků ²

Vakuový obvod sestavený z funkčního bloku s ejektorem

Klady: protože jsou všechny prvky řešeny jako moduly (ejektor, vakuový filtr, vakuový snímač, ventily), je hlavní výhodou úspora plochy a prostoru, dále se zkracuje i celkový čas montáže.²

Zápory: pokud se odsává větší množství vzduchu (více jak $0,0006 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), je lepší místo bloku využít samostatné prvky.²

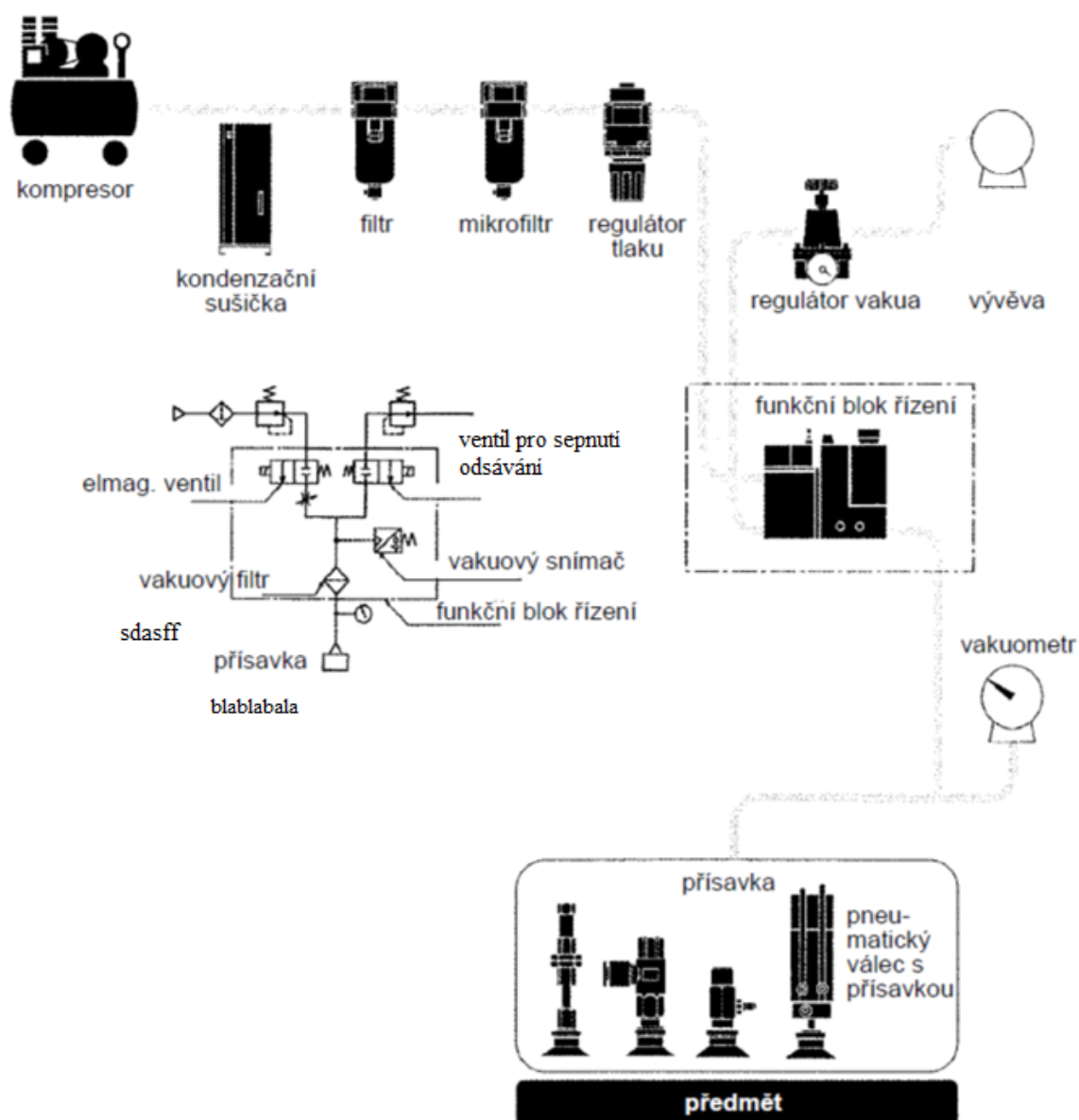


Obrázek 4.12 Obvod se zdrojem a řízením vakua, sestavený z funkčního bloku s ejektorem²

Vakuový obvod s mechanickou vývěvou a řízení vakua funkčním blokem řízení

Klady: protože jsou všechny prvky řešeny jako moduly (ejektor, vakuový filtr, vakuový snímač, ventily), je hlavní výhoda úspora plochy a prostoru, dále se zkracuje i celkový čas montáže.²

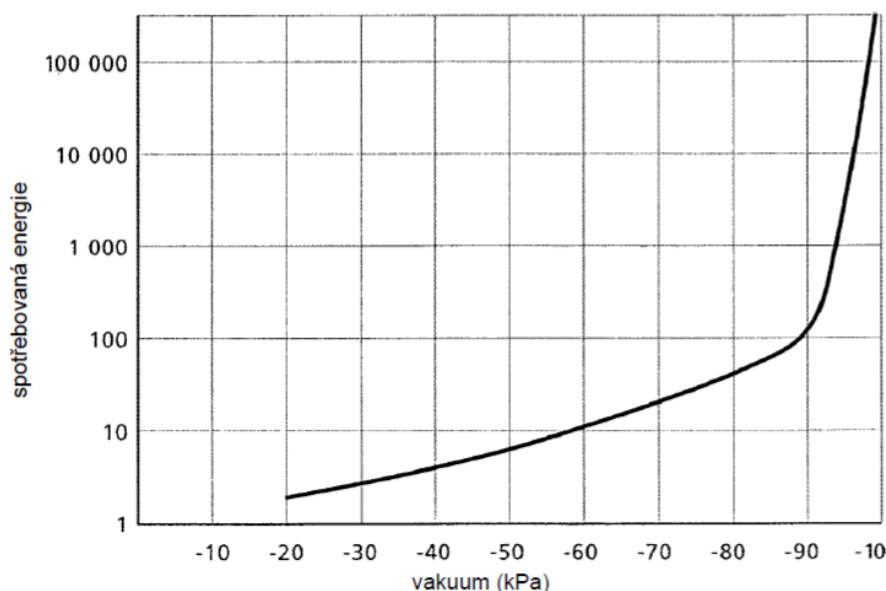
Zápory: pokud se odsává větší množství vzduchu (více jak $0,0006 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) z jedné skupiny, je lepší místo bloku využít samostatné prvky.²



Obrázek 4.13 Obvod s mechanickou vývěvou a řízením vakua funkčním blokem²

5 Výpočet a návrh přísavky a ejektoru

Při návrhu přísavky a ejektoru je předem důležité znát několik parametrů, které nám ovlivní celý výpočet. V první řadě potřebujeme znát hodnotu podtlaku (vakua) za ejektorem. Protože spotřeba energie na výrobu vakua roste exponenciálně s velikostí vakua, je z energetického hlediska lepší mít nižší hodnotu vakua s větší přísavkou. Pokud bychom zvýšili hodnotu vakua z -60 kPa na -90 kPa, tak sice docílíme 1,5 krát vyšší sílu přísavky, ale zároveň nám stoupne spotřeba energie na výrobu vakua desetinásobně (průběh spotřeby energie na výrobu vakua vidíme na obrázku 5.1). Nehledě na to, že se zvýší i opotřebení přísavky, a tím pádem se zkracuje její životnost. V praxi se nejčastěji používají hodnoty kolem -60 kPa. Tyto hodnoty jsou navrženy i v této práci.²



Obrázek 5.1 Vztah mezi velikostí vakua a spotřebou energie²

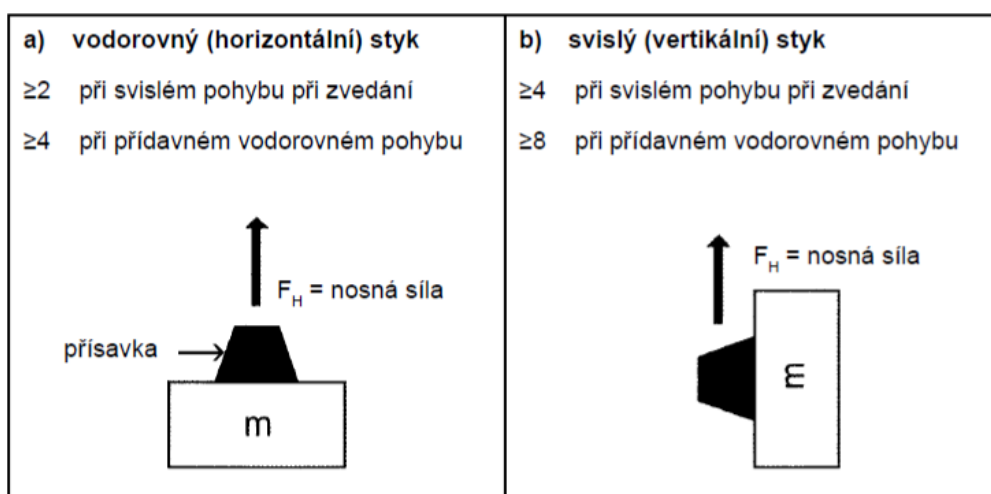
Hodnota vakua, hmotnost manipulovaného předmětu, povrch a směr úchopu přísavky jsou vstupní data, která jsou zadána. K návrhu přísavky jsou různé postupy, podle toho, o jakou firmu se jedná. V této práci byla navržena přísavka podle firmy SMC a firmy FESTO. Dále byly vyzkoušeny konfigurátory dílů od firmy SMC, FESTO a AVENTICS.

Návrh přísavky podle firmy SMC ². Vypočítání teoretické nosné síly

$$F_H = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot p \cdot 0,001 \quad (1)$$

- F_H – nosná síla teoretická (N)
- D – průměr přísavky (mm)
- p – vakuum (kPa)

Pro vypočítání průměru přísavky je nutná úprava rovnice, zavedení koeficientu bezpečnosti a počtu přísavek. Koeficient bezpečnosti určíme podle obrázku 5.2.



Obrázek 5.2 Určení koeficientu bezpečnosti ²

Konečné znění rovnice pro výpočet průměru přísavky je uvedeno v rovnici (2).

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} \quad (2)$$

- D – průměr přísavky [mm]
- p – vakuum [kPa]
- m – hmotnost tělesa [kg]
- g – gravitační zrychlení [$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]
- n – počet přísavek [ks]
- s – koeficient bezpečnosti [vis obr. 5.2]

Podle rovnice (2) je proveden výpočet pro různé situace. Určení průměru přísavky pro těleso o váze 1 kg v horizontálním styku při svislém pohybu (zvedání), koeficient $s = 2$:

$$D_{s2} = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 1000}{\pi \cdot 60 \cdot 1}} = 20,4 \rightarrow 25 \text{ mm}$$

Z katalogu volíme nejbližší vyšší průměr přísavky.

Určení průměru přísavky pro těleso o váze 1 kg v horizontálním styku při přidavném vodorovném pohybu (zvedání + posuv), koeficient $s = 4$:

$$D_{s4} = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 1000}{\pi \cdot 60 \cdot 1}} = 28,86 \rightarrow 32 \text{ mm}$$

Určení průměru přísavky pro těleso o váze 1 kg ve vertikálním styku při svislém pohybu (zvedání), koeficient $s = 4$:

$$D_{s4} = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 1000}{\pi \cdot 60 \cdot 1}} = 28,86 \rightarrow 32 \text{ mm}$$

Určení průměru přísavky pro těleso o váze 1 kg ve vertikálním styku při přidavném vodorovném pohybu (zvedání + posuv), koeficient $s = 8$:

$$D_{s8} = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 1000}{\pi \cdot 60 \cdot 1}} = 40,81 \rightarrow 50 \text{ mm}$$

Pokud se při manipulaci s předměty může vyskytnout působení větru nebo rázy při zvedání větších desek je nutné koeficient bezpečnosti ještě zvýšit. V případě že zvedáme porézní materiál, je nutné zvolit více malých přísavek, aby byly ztráty vlivem netěsnost co nejmenší. Dále se doporučuje větší hodnota vakua.²

Určení průměru přísavky **pro porézní těleso** o váze 1 kg ve vertikálním styku při přidavném vodorovném pohybu (zvedání + posuv), koeficient $s = 8$:

$$D_{s8} = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 1000}{\pi \cdot 80 \cdot 3}} = 20,4 \rightarrow 3 \times 25 \text{ mm}$$

Návrh přísavky podle firmy FESTO⁴ se provádí vypočítáním nosné síly a následnému vybrání přísavky z katalogu podle tohoto parametru. Nosná síla se počítá pro tři situace.

První situace je přísavka ve vodorovné poloze a pohyb ve svislém směru.

$$F_H = m \cdot (g + a) \cdot S \quad (3)$$

Druhá situace je přísavka ve vodorovné poloze a pohyb ve vodorovném směru.

$$F_H = m \cdot \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \cdot S \quad (4)$$

Třetí situace je přísavka ve svislé poloze a pohyb ve svislém směru.

$$F_H = \left(\frac{m}{\mu}\right) \cdot (g + a) \cdot S \quad (5)$$

- F_H – nosná síla [N]
- m – hmotnost tělesa [kg]
- g – gravitační zrychlení [$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]
- a – akcelerace zařízení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
- S – koeficient bezpečnosti [alespoň 1,5 u přímočarých pohybů]
- μ – součinitel tření [1]

Součinitel tření μ a hodnoty akcelerace a jsou určeny dle tabulky 5.1.

Tabulka 5.1 Empirické hodnoty tření a akcelerace⁴

Empiricky zjištěná hodnota tření μ		Empirické hodnoty akcelerace a	
Mokrý	0,2 - 0,3	Elektrické vřeteno	6 m/s ²
Drsný	0,6	Elektrický ozubený řemen	20 m/s ²
Dřevo	0,5	Servopneumatický pohon	25 m/s ²
Kov	0,5	Pneumatický pohon	30 m/s ²
Sklo	0,5	Pneumatický kyvný pohon	40 m/s ²

Podle výše uvedených rovnic je proveden výpočet pro různé situace. Pro všechny situace jsou zvoleny součinitele $a = 30$, $\mu = 0,5$

Určení nosné síly pro těleso o váze 1 kg ve vodorovné poloze a pohyb ve svislém směru.

$$F_H = m \cdot (g + a) \cdot S = 1 \cdot (9,81 + 30) \cdot 1,5 = 59,72 \text{ N}$$

Dle katalogu přísavek FESTO volím kruhovou plochou přísavku o průměru 40 mm s nosnou silou $F_H = 69,6 \text{ N}$

Určení nosné síly pro těleso o váze 1 kg ve vodorovné poloze a pohyb ve vodorovném směru.

$$F_H = m \cdot \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \cdot S = 1 \cdot \left(9,81 + \frac{30}{0,5}\right) \cdot 1,5 = 104,72 \text{ N}$$

Dle katalogu přísavek FESTO volím kruhovou plochou přísavku o průměru 50 mm s nosnou silou $F_H = 105,8 \text{ N}$

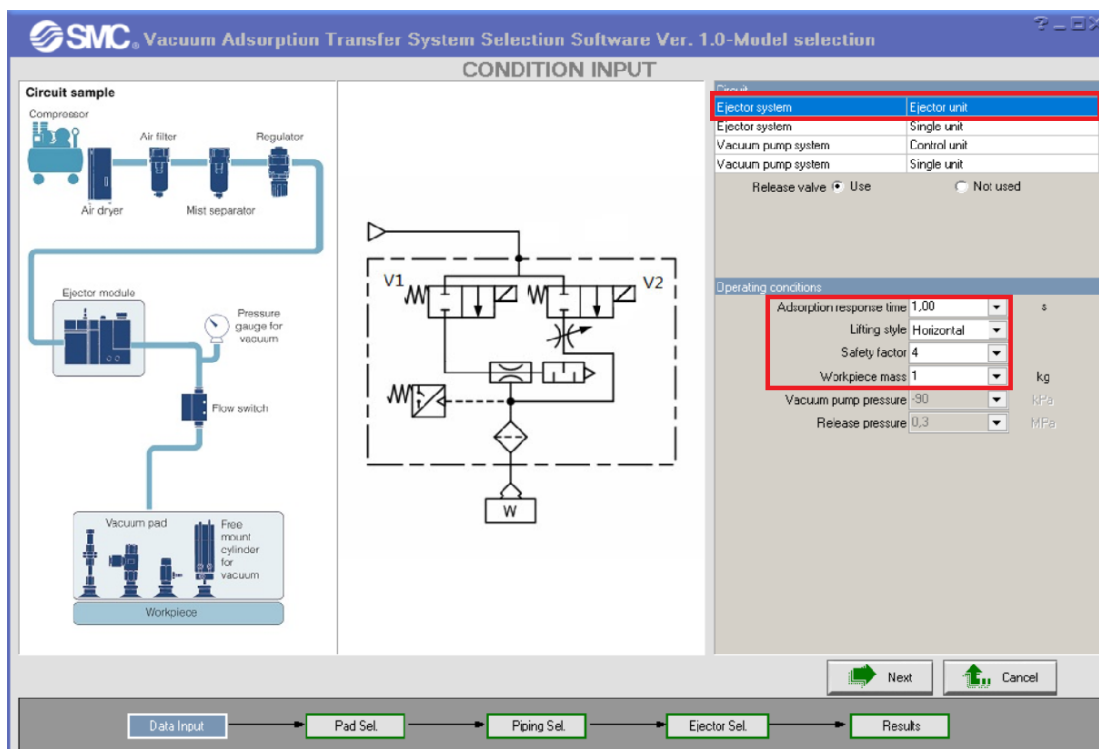
Určení nosné síly pro těleso o váze 1 kg ve svislé poloze a pohyb ve svislém směru.

$$F_H = \left(\frac{m}{\mu}\right) \cdot (g + a) \cdot S = \left(\frac{1}{0,5}\right) \cdot (9,81 + 30) \cdot 1,5 = 119,43 \text{ N}$$

Dle katalogu přísavek FESTO volím kruhovou plochou přísavku o průměru 60 mm s nosnou silou $F_H = 166,1 \text{ N}$

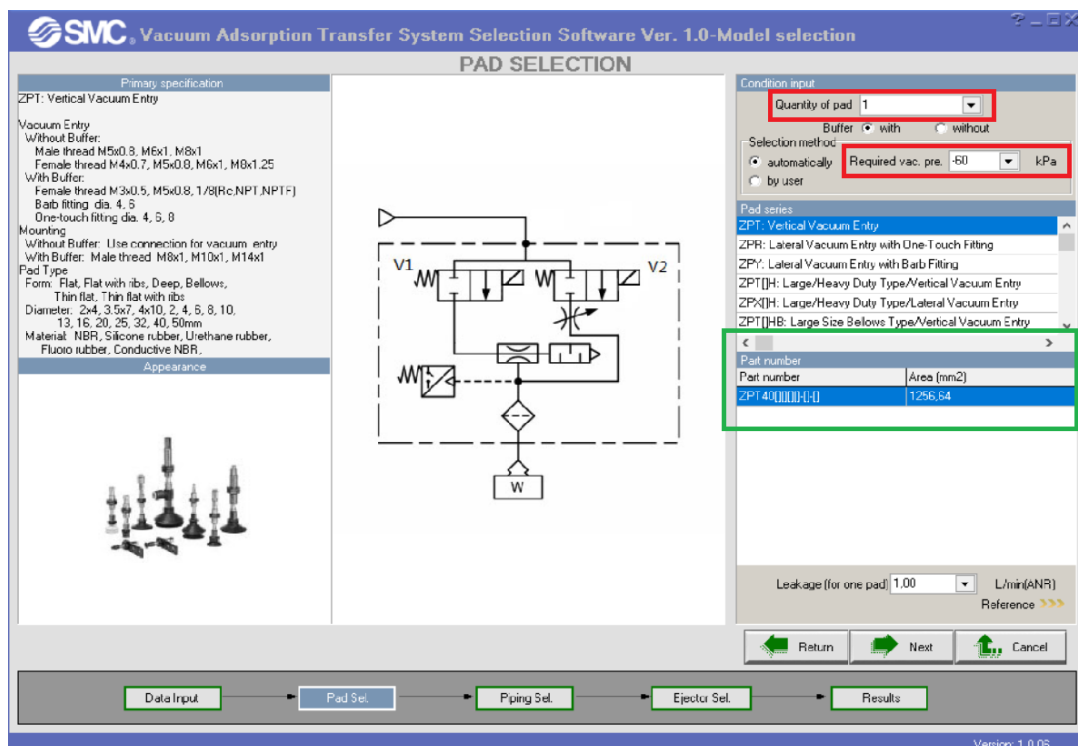
Návrh přísavky není nutné počítat ručně. Někteří výrobci nabízí vlastní programy na konfiguraci celého obvodu. V této práci budou ukázány konfiguratory od firem SMC, FESTO a AVENTICS.

V SMC konfiguratoru nastavujeme: druh obvodu, dobu odezvy, polohu přísavky, bezpečnostní faktor a hmotnost zvedaného předmětu viz obrázek 5.3.



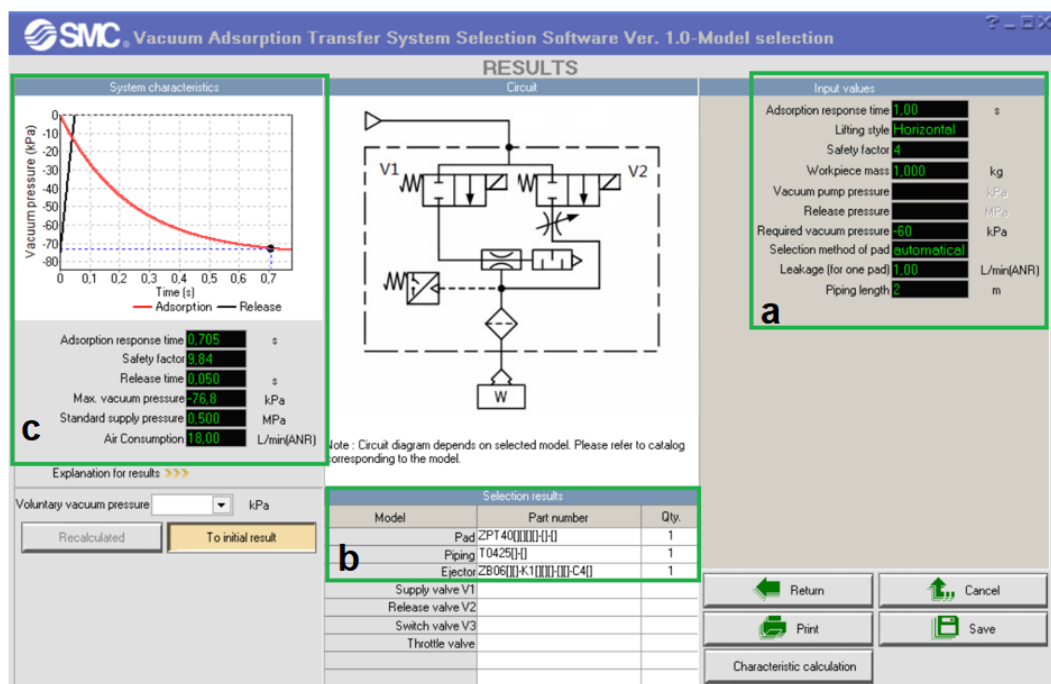
Obrázek 5.3 Krok 1 ⁸

V kroku 2 volíme počet přísavek a požadovanou hodnotu vakua. Po dosazení těchto údajů se níže objeví velikost přísavky (40 mm) viz obrázek 5.4.



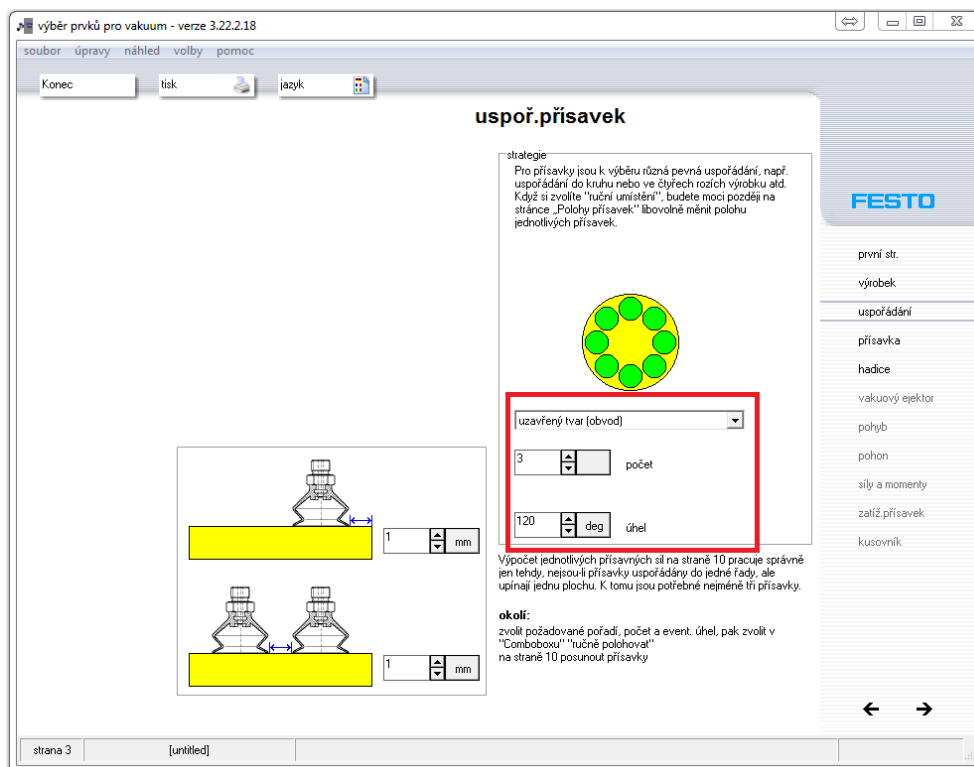
Obrázek 5.4 Krok 2 ⁸

V dalších krocích probíhá návrh hadic a typu ejektoru. V posledním kroku vidíme shrnutí obvodu. Na obrázku 5.5 - a vidíme vstupní hodnoty, na 5.5 - b zvolený typ přísavky a ejektoru, na 5.5 - c vidíme konečné chování obvodu.

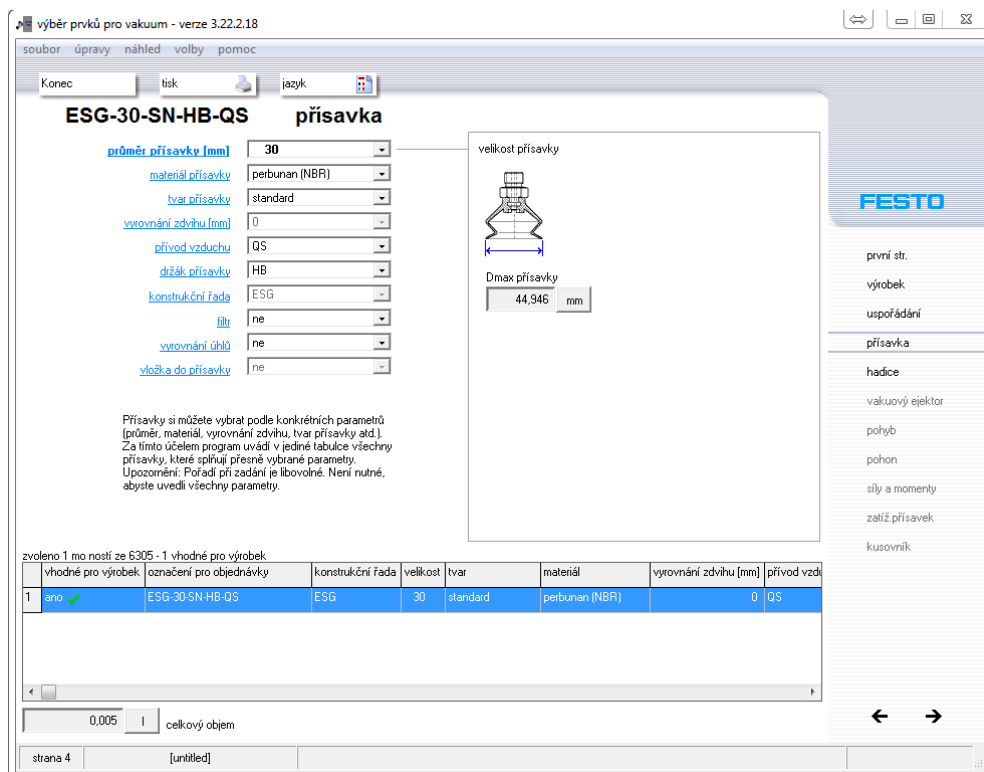


Obrázek 5.5 Shrnutí ⁸

FESTO konfigurátor má obdobné zadávání parametrů jako konfigurátor od SMC, a proto si na něm ukážeme řešení pro porézni materiál (tři přísavky). Na obrázku 5.6 je zvolení pozice a počtu přísavek. Na obrázku 5.7 je zvolení přísavky.



Obrázek 5.6 Návrh uspořádání přísavek ⁹



Obrázek 5.7 Volba přísavky ⁹

Na obrázku 5.8 je návrh ejektoru.

výběr prvků pro vakuum - verze 3.22.2.18

soubor úpravy náhled volby pomoc

Konec tisk jazyk

VN-05-H-T3-PQ2-VQ2-R01-B vakuový ejektor

počet 1
 provozní tlak 7 bar
 vakuum -0.8 bar

el. ovlád. nap. vzduchem
 vstřikovací impuls
 zapojení, které spojí vzduch
 zpětný ventil
 tlumiče hluku
 filtr
 konstrukční řada
 připojení vakua
 přívod stlačeného vzduchu
 výstupní vakuový spínač
 komparátor kritické hodnoty
 Vacuum display

bez proudu sepnuto
 mechanicky automaticky
 ne
 ne
 ano
 ne
 VN
 QS-6
 QS-6
 -
 -

Při výběru ejektoru musí být nejprve zadán počet ejektorů, provozní tlak a požadované vakuum. Další parametry (např. závitová připojení, výstupní signál, konstrukční skupina, integrovaný elektromagnetický ventil) mohou být zadány dodatečně v libovolném pořadí.

zvoleno 6 mo nosti ze 2562 - 6 hodí se pro hadici

	hodi se pro hadici	označení pro objednávky	evakuační čas	vakuum max.	konstrukční skupina	elektromagnetický ventil, stlačený vzduch	vstřikovací impuls
1	ano ✓	VN-05-H-T3-PQ2-VQ2-R01-B	355 ms	-0.819 bar	VN	bez proudu sepnuto	mechanicky
2	ano ✓	VN-05-L-T3-PQ2-VQ2-R01-B	158 ms	-0.812 bar	VN	bez proudu sepnuto	mechanicky
3	ano ✓	VN-07-H-T3-PQ2-VQ2-R01-B	80 ms	-0.841 bar	VN	bez proudu sepnuto	mechanicky
4	ano ✓	VN-07-L-T3-PQ2-VQ2-R01-B	54 ms	-0.841 bar	VN	bez proudu sepnuto	mechanicky
5	ano ✓	VN-10-H-T3-PQ2-VQ2-R01-B	64 ms	-0.876 bar	VN	bez proudu sepnuto	mechanicky

0.014 | celkový objem graf

strana 6 [untitled]

FESTO

první str.
 výrobek
 uspořádání
 přísavka
 hadice
 vakuový ejektor
 pohyb
 pohon
 síly a momenty
 zatížení přísavky
 kusovník

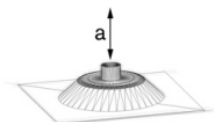
Obrázek 5.8 Návrh ejektoru ⁹

Konfiguratör od AVENTICS je opät obdobný. Na obrázku 5.9 je prísavka pro horizontální styk a na obrázku 5.10 je prísavka pro vertikální styk.

AVENTICS[®]

Vacuum calculation program ver 1.1, Suction cup

Thu May 17 13:55:11 CEST 2018
Field for customer notes
Notes




Workpiece:

Mass : (kg) 1

Material: Metall dry

Temperature (C) -10 to 70

Surface form: Plane



Application:

System Vacuum: (bar) -0.6

Motion: Vertical up/down

Deceleration a(m/s²) 50

Friction coefficient: 0.5

Number of suction cups: 1

Safety factor: 1.5

Suction cup:

Series: FSG

Material: Perbunan

Thread: Internal thread

Pre choice: None

The program result may be seen as a recommendation for choice of components. AVENTICS may not be held liable for any damages occurring from the use of this program.

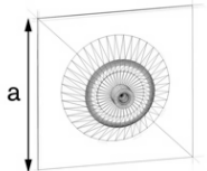
Dimensioning data:	Value	Load %	Output data (suction cup):
Required suction force /suction cup:	89.7	98.6	Name: FSG50
Fs(N) (Pu=-0.6bar)			Part number: 1 820 455 089
			Dimension: (mm) 50.0
			Thread: G1/8

Obrázek 5.9 Horizontální styk ¹⁰

AVENTICS[®]

Vacuum calculation program ver 1.1, Suction cup

Thu May 17 13:54:38 CEST 2018
Field for customer notes
Notes




Workpiece:

Mass : (kg) 1

Material: Metall dry

Temperature (C) -10 to 70

Surface form: Plane



Application:

System Vacuum: (bar) -0.6

Motion: Vertical up/down

Deceleration a(m/s²) 50

Friction coefficient: 0.5

Number of suction cups: 1

Safety factor: 1.5

Suction cup:

Series: FSG

Material: Perbunan

Thread: Internal thread

Pre choice: None

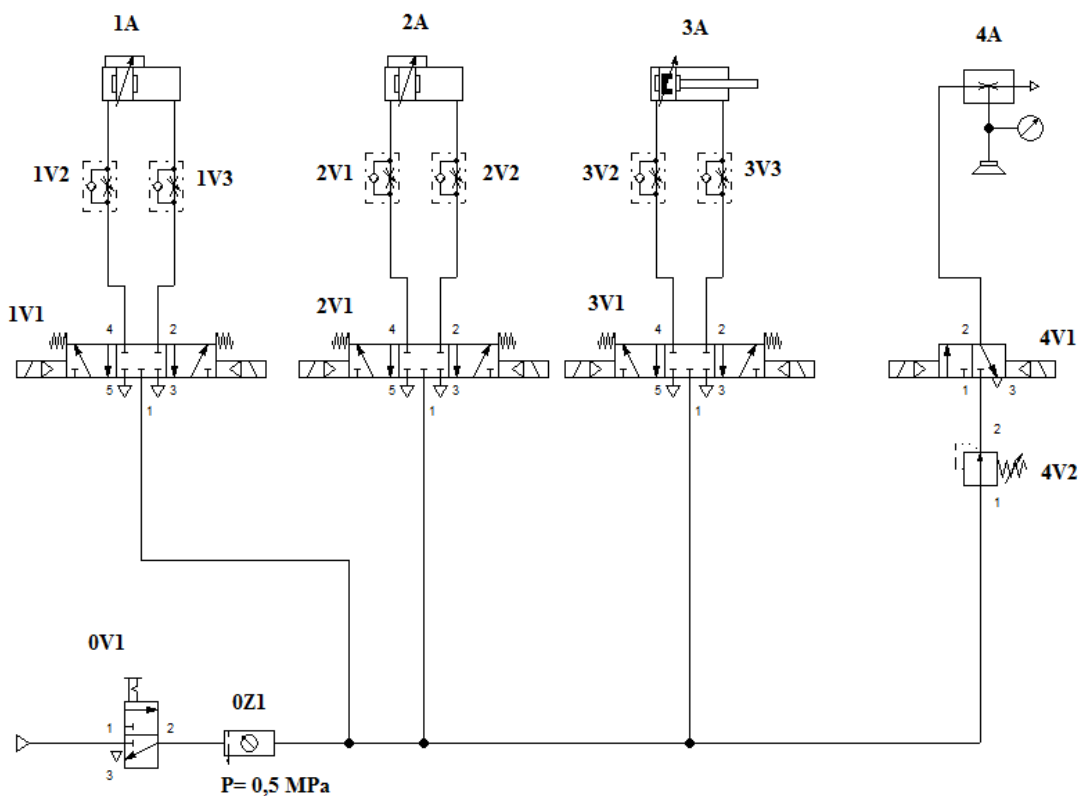
The program result may be seen as a recommendation for choice of components. AVENTICS may not be held liable for any damages occurring from the use of this program.

Dimensioning data:	Value	Load %	Output data (suction cup):
Required suction force /suction cup:	179.4	69.0	Name: FSG80
Fs(N) (Pu=-0.6bar)			Part number: 1 820 455 097
			Dimension: (mm) 80.0
			Thread: G1/4

Obrázek 5.10 Vertikální styk ¹⁰

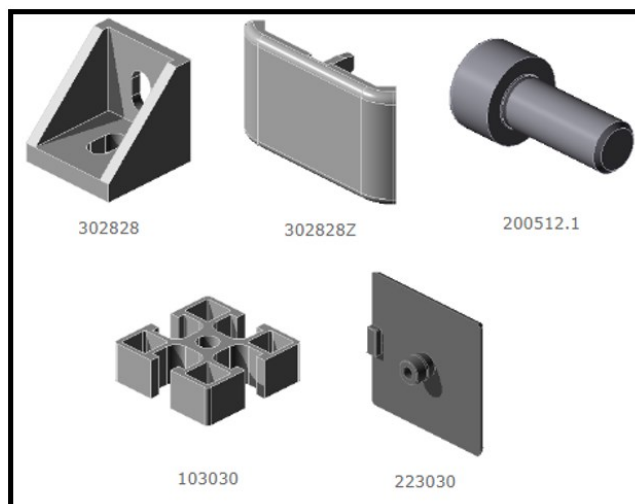
6 Návrh zkušebního zařízení

Toto zařízení má za úkol ověřit pravdivost vypočtených výsledků. Na obrázku 6.1 je schéma pneumatického obvodu pro zkušební zařízení. Vakuometr umístěný před přísavkou 4A snímá hodnotu vakua. Tato hodnota se bude libovolně měnit pomocí redukčního ventilu 4V2. Rozváděč 4V1 zapíná a vypíná přívod stlačeného vzduchu pro výrobu vakua. K pohonu osy X, Y zkušebního stroje jsou v obvodu dva bezpístnicové motory A1, A2, kdy hodnota jejich zrychlení se dá regulovat škrticími ventily 1V2, 1V3, 2V2, 2V3. Pro pohon osy Z je použit dvojčinný kruhový válec. Jeho zrychlení je taktéž regulováno škrticími ventily 3V2, 3V3. Zrychlení na osách bude zaznamenáno pomocí akceleračního senzoru. Díky výsledkům z vakuometru, akceleračního senzoru a rozměrům přísavky je možný zpětný výpočet koeficientů bezpečnosti \underline{s} , \underline{S} , se kterými bylo počítáno v předešlé kapitole při výpočtu a návrhu přísavek.

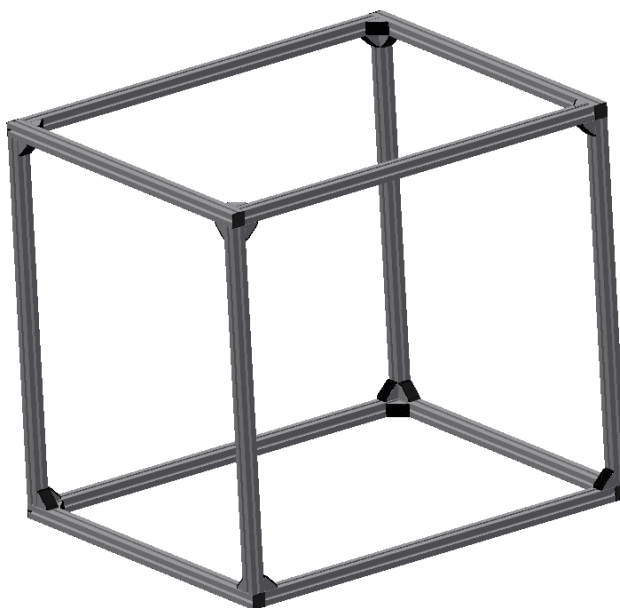


Obrázek 6.1 Pneumatické schéma zkušebního zařízení ¹¹

Zkušební zařízení je navrženo pro držení tělesa pomocí přísavky v horizontálním a vertikálním směru a manipulaci s tímto tělesem ve třech osách (X, Y, Z). Tělo zkušebního zařízení je složeno z hliníkových profilů od značky ALUTEC KK a má tvar kváдру. Jeho rozměry jsou 730x900x810 mm. Tyto rozměry jsou voleny na základě připojovacích rozměrů pohonů. Jednotlivé profily jsou spojeny pomocí spojovacích prvků téže firmy. Katalogové značení, náhled prvků viz obrázek 6.2 a konstrukce těla viz obrázek 6.3.



Obrázek 6.2 Náhled prvků ¹²



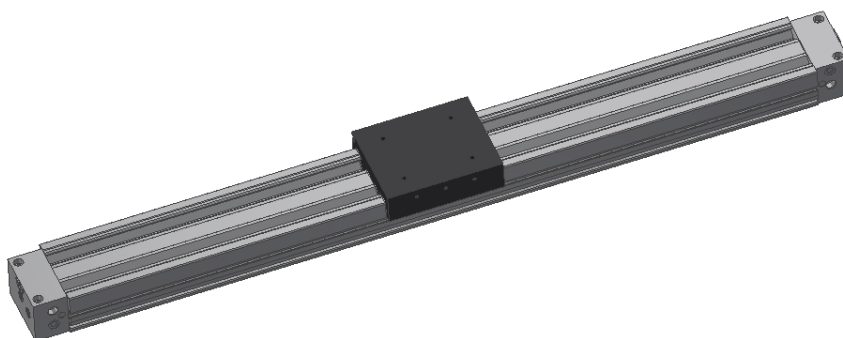
Obrázek 6.3 Konstrukce těla

Akcelerační senzor ACX04-F99-I-V15 bude umístěn na otočném kloubu a bude snímat zrychlení, které bude působit na manipulovaný předmět. Díky analogovému výstupu 4mA...20mA, je možné sledovat hodnotu zrychlení na přístroji Hydrotechnik M5050.



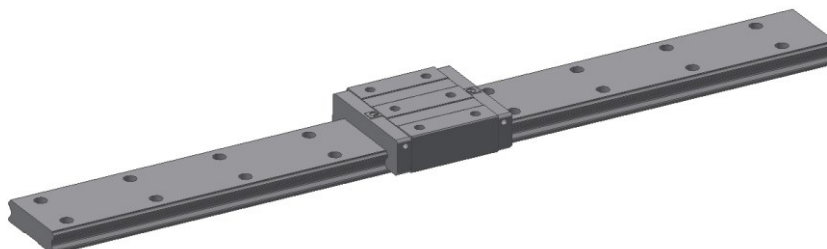
Obrázek 6.4 Akcelerační senzor ACX04-F99-I-V15 ¹³

Osy X, Y jsou poháněny stejnými bezpístnicovými motory typu MY1M25-500 od firmy SMC. Průměr pístnice moru 25 mm, zdvih je 500 mm. Motory jsou bez dorazu pro omezení zdvihu a bez snímače polohy. ¹⁴



Obrázek 6.5 Motor MY1M25-500

Přídavná osa X není poháněna, ale pouze vedena. K tomuto účelu je použito kuličkové vedení WEH35CA od firmy MATIS. Délka vedení je 700 mm. ¹⁵



Obrázek 6.6 Lineární kuličkové vedení WEH35CA

Pro pohyb osy Z slouží dvojčinný kruhový válec C85KN20-300 od firmy SMC. Průměr pístu 20 mm, zdvih 300 mm. Válec je bez snímače polohy a má jednostrannou pístnici zajištěnou proti pootočení.¹⁴

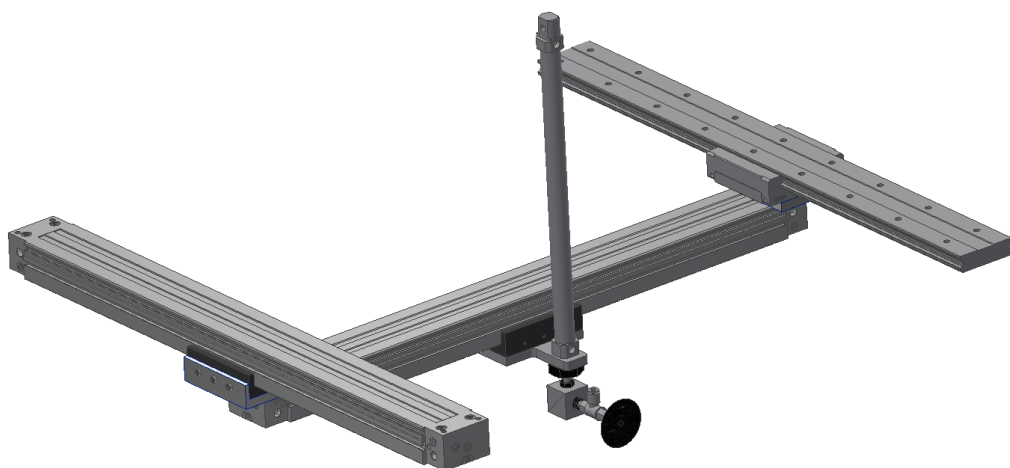


Obrázek 6.7 Válec C85KN20-300

Tyto motory jsou vzájemně spojeny, aby bylo docíleno pohybu ve třech osách, k dosažení manipulace s předmětem v horizontálním i vertikálním styku přidáme mezi přísavku a píst otočný kloub. Sestavení motorů spolu s variantou styku horizontálního a vertikálního viz obrázky 6.8 a 6.9. Na obrázku 6.10 vidíme kompletní návrh zkušebního zařízení.



Obrázek 6.8 Sestavení motorů a přísavka v horizontálním styku



Obrázek 6.9 Sestavení motorů a přísavka ve vertikálním styku



Obrázek 6.10 Kompletní návrh stroje

Z hlediska bezpečnosti (pád a následný odskok zkoušeného předmětu) budou boky zkušebního zařízení zakryty plexisklem a jedna strana bude opatřena dvířky pro vkládání tělesa. Na spodní straně je umístěna OSB deska, na které je nalepená tlumicí vrstva z molitanu. Výkres sestavy s kusovníkem je přiložen v příloze. Po dohodě s vedoucím práce výrobní výkresy jednotlivých částí nejsou realizované.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo demonstrační zařízení vakuových mechanismů. V první kapitole byly obecně popsány pneumatické mechanismy jejich vlastnosti výhody a nevýhody oproti ostatním mechanismům. V druhé kapitole je popsán stlačený vzduch jeho vlastnosti, výroba a rozvod. Třetí kapitola pojednává o řídicích prvcích používaných v pneumatických obvodech a jejich rozdělení. Ve čtvrté kapitole se řeší problematika vakua, jeho vlastnosti, vyjádření pomocí různých jednotek a jeho výroba. Dále jsou v této kapitole popsány základní druhy přísavek, jejich využitím, materiály a další příslušenství.

V druhé části této práce je výpočet a návrh přísavky dle zadaných parametrů. K výpočtu bylo použito několik postupů dle různých zdrojů. Z výsledků lze vyhodnotit, že každá firma používá na výpočet průměru přísavky jiné vzorce. Výsledky jsou ale obdobné a liší se zhruba o 10 mm.

V poslední části této práce je návrh zkušebního zařízení, které ověří vypočtené hodnoty přímo v praxi, a to pomocí vakuometru umístěného před přísavkou a akcelerometru umístěného na pohyblivé části zkušebního zařízení. Díky hodnotám z těchto senzorů je možné ověřit koeficienty bezpečnosti, které se používají ve výpočtech. Zkušební zařízení je navrženo v programu Autodesk Inventor 2017 a v tom samém programu je zpracován i výkres sestavy s kusovníkem.

Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanizmy*. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1998. ISBN 80-7078-306-0.
- [2] KOLEKTIV, AUTORŮ. *SMC training: Využití stlačeného vzduchu*. 3. b.r.
- [3] HRBEK, Jiří. *Vakuová technika*. První. Praha 1: České vysoké učení technické v Praze Editační středisko ČVUT, 1981.
- [4] Často kladené otázky - vakuová technika.
[Https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm) [online]. b.r. [cit. 2018-05-15].
Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/9830.htm
- [5] Vakuum pro automatizaci. <Http://www.vakuumtechnik.cz> [online]. 2001 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z:
http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/vakuum_pro_automatizaci_CZ.pdf
- [6] Přísavky. <Http://www.vakuumtechnik.cz> [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z:
http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/PIAB_prisavky_brozura_CZ.pdf
- [7] Vakuové přísavky ESG. Https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm [online]. 2016 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/ESG_CZ.PDF
- [8] Konfigurator vakuových obvodů v.1.0.06.
Https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/main/index_restyling.jsp?is_main=yes&lang=cs&ctry=CZ [online]. b.r. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/01_products/engineering_tools/vacuum_components_selector/vacuum_components_selector.jsp
- [9] Vacuum component selection. Https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm [online]. 2012 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z:
https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Details/8364/Document.aspx
- [10] Vacuum calculation program ver 1.1. <Https://www.aventics.com/de/> [online]. b.r. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z:
https://www.aventics.com/computation/vacuum/vacuum_compute.jsp?language=en
- [11] FluidSIM. Https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm [online]. b.r. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.festo-didactic.com/cz-cs/vyukove-systemy/software-e-learning/fluidsim/fluidsim-5.htm?fbid=Y3ouY3MuNTQzLjMxLjE4LjU5MS43OTc1>
- [12] Katalog Alutec K&K. <Https://www.aluteckk.cz/> [online]. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://katalogaluteckk.aspone.cz/>
- [13] Acceleration sensor. Https://www.pepperl-fuchs.com/czech_republic/cs/index.htm# [online]. b.r. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.pepperl->

fuchs.com/czech_republic/cs/classid_2715.htm?view=productdetails&prodid=45295#overview

[14] Digitální katalog.

https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/main/index_restyling.jsp?is_main=yes&lang=cs&ctry=CZ [online]. 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_lines.jsp

[15] WEH- kuličkové vedení. *[Http://www.matis.cz/](http://www.matis.cz/)* [online]. b.r. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.matis.cz/cs/produkt/weh-kulickove-vedeni-siroke-proveden-uzke>

Seznam obrázků

Obrázek 4.1 jednostupňový ejektor ⁴	19
Obrázek 4.2 Jednostupňový a vícestupňový ejektor ²	20
Obrázek 4.3 Čtyřstuňový ejektor ⁵	20
Obrázek 4.4 Průřez funkčního bloku pro řízení zdroje vakua ²	21
Obrázek 4.5 (a) plochá přísavka oválná, (b) plochá přísavka kruhovitá, (c) řez plochou kruhovitou přísavkou ^{2,6}	23
Obrázek 4.6 (a) plochá přísavka s opěrnými žebry kruhovitá, (b) plochá přísavka s opěrnými žebry oválná, (c) řez plochou kruhovitou přísavkou s opěrnými žebry ^{2,6}	24
Obrázek 4.7 (a) hluboká přísavka, (b) řez hlubokou přísavkou ^{2,6}	25
Obrázek 4.8 (a) kruhovitá přísavka s měchem, (b) oválná přísavka s měchem, (c) řez kruhovitou přísavkou s měchem ^{2,6}	25
Obrázek 4.9 Ventily v přípojích ⁶	27
Obrázek 4.10 Příslušenství k přísavkám ⁶	27
Obrázek 4.11 Obvod se zdrojem a řízením vakua, sestavený ze samostatných prvků ²	28
Obrázek 4.12 Obvod se zdrojem a řízením vakua, sestavený z funkčního bloku s ejektorem ²	29
Obrázek 4.13 Obvod s mechanickou vývěvou a řízením vakua funkčním blokem ²	30
Obrázek 5.1 Vztah mezi velikostí vakua a spotřebou energie ²	31
Obrázek 5.2 Určení koeficientu bezpečnosti ²	32
Obrázek 5.3 Krok 1 ⁸	36
Obrázek 5.4 Krok 2 ⁸	37
Obrázek 5.5 Shrnutí ⁸	37
Obrázek 5.6 Návrh uspořádání přísavek ⁹	38
Obrázek 5.7 Volba přísavky ⁹	38
Obrázek 5.8 Návrh ejektoru ⁹	39
Obrázek 5.9 Horizontální styk ¹⁰	40
Obrázek 5.10 Vertikální styk ¹⁰	40
Obrázek 6.1 Pneumatické schéma zkušebního zařízení ¹¹	41
Obrázek 6.2 Náhled prvků ¹²	42
Obrázek 6.3 Konstrukce těla	42
Obrázek 6.4 Akcelerační senzor ACX04-F99-I-V15 ¹³	43
Obrázek 6.5 Motor MY1M25-500	43
Obrázek 6.6 Lineární kuličkové vedení WEH35CA	43

Obrázek 6.7 Válec C85KN20-300	44
Obrázek 6.8 Sestavení motorů a přísavka v horizontálním styku.....	44
Obrázek 6.9 Sestavení motorů a přísavka ve vertikálním styku	45
Obrázek 6.10 Kompletní návrh stroje	45

Seznam tabulek

Tabulka 4.1 Používané jednotky pro vyjádření podtlaku (vakua) ²	16
Tabulka 4.2 Srovnání používaných jednotek ²	16
Tabulka 4.3 Typy a vlastnosti vývěv	18
Tabulka 4.4 Provozní podmínky a parametry přísavek ⁶	22
Tabulka 4.5 Přehled materiálu přísavek od firmy FESTO ^{4,7}	26
Tabulka 5.1 Empirické hodnoty tření a akcelerace ⁴	34

Seznam příloh

Příloha A – Zkušební zařízení

Příloha B – Kusovník zkušební zařízení